

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-133650

(43)Date of publication of application : 09.05.2003

(51)Int.Cl.

H01S 5/343

H01S 5/223

H01S 5/24

(21)Application number : 2001-330181

(71)Applicant : SHARP CORP  
SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 29.10.2001

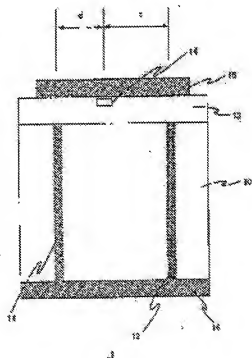
(72)Inventor : ITO SHIGETOSHI  
UEDA YOSHIHIRO  
YUASA TAKAYUKI  
TANETANI MOTOTAKA  
MOTOKI KENSAKU

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor laser device having a long life for lasing.

SOLUTION: The semiconductor laser device comprises a nitride semiconductor substrate and a nitride semiconductor layer formed on the substrate. The substrate comprises a dislocation concentrated region of the stripe geometry and a low dislocation region of the stripe geometry which is the other region than the dislocation concentrated region, with the nitride semiconductor layer including a laser beam guide region of the stripe geometry. The laser beam guide region is provided above the low dislocation region and is nearly parallel with the dislocation concentrated region. The distance in the horizontal direction between the laser beam guide region and part of the dislocation concentrated region which is closest to the laser beam guide region is at least 40  $\mu\text{m}$ .



## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]A nitride semiconductor substrate.  
A nitride semiconductor layer laminated on it.

Are the nitride semiconductor laser element provided with the above, and a nitride semiconductor substrate. Dislocation concentrated regions of stripe shape, Have a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, and a nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape, A laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, and are dislocation concentrated regions and abbreviated parallel, and it is characterized by the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this being not less than 40 micrometers.

[Claim 2] A nitride semiconductor substrate.

A nitride semiconductor layer laminated on it.

It is the nitride semiconductor laser element provided with the above — a nitride semiconductor substrate — mutual — abbreviated — with dislocation concentrated regions of two or more parallel stripe shape. Have a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, and a nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape, A laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, and are dislocation concentrated regions and abbreviated parallel, When making into a low dislocation field center region the Chuo Line portion between dislocation concentrated regions which the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this is not less than 40 micrometers, and adjoin each other. It is characterized by the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a low dislocation field center region of the maximum contiguity in this being not less than 30 micrometers.

[Claim 3] A nitride semiconductor substrate.

A nitride semiconductor layer laminated on it.

Are the nitride semiconductor laser element provided with the above, and a nitride semiconductor substrate. Dislocation concentrated regions of stripe shape, Have a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, and a low dislocation field has a high luminescence field of stripe shape, Dislocation concentrated regions and a high luminescence field are abbreviated parallel, and a nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape, A laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, and are dislocation concentrated regions and abbreviated parallel, It is characterized by the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this being not less than 40 micrometers, and the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this being not less than 30 micrometers.

[Claim 4] The nitride semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 3, wherein the distance  $d$  is not less than 60 micrometers.

[Claim 5] The nitride semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 4, wherein the distance  $P$  between dislocation concentrated regions which a nitride semiconductor substrate carries out dislocation concentrated regions in two or more owners, and adjoin each other is not less than 140 micrometers.

[Claim 6] The nitride semiconductor laser element according to claim 5, wherein the distance  $P$  is not less than 300 micrometers.

[Claim 7] The nitride semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 6 to which dislocation concentrated regions carry out that they are abbreviated parallel in the  $[1-100]$  direction of a nitride semiconductor substrate with the feature.

[Claim 8] A nitride semiconductor substrate.

A nitride semiconductor layer laminated on it.

Are the nitride semiconductor laser element provided with the above, and a nitride semiconductor substrate has a high luminescence field of stripe shape, A nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape, laser beam waveguide fields are a high luminescence field and abbreviated parallel, and it is characterized by the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity being not less than 30 micrometers.

[Claim 9] The nitride semiconductor laser element according to any one of claims 4 to 7 which quotes claim 2, wherein the distance  $t$  is not less than 50 micrometers, claim 3, claim 8, claim 2, or claim 3.

[Claim 10] The nitride semiconductor laser element according to claim 8 to which a high luminescence field carries out that they are abbreviated parallel in the  $[1-100]$  direction of a nitride semiconductor substrate with the feature.

[Claim 11] A semiconductor optical apparatus having the nitride semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 10 as a light source.

[Claim 12]mutual --- abbreviated --- dislocation concentrated regions of two or more parallel stripe shape. On a nitride semiconductor substrate which has a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, it is a laser beam waveguide field of stripe shape. While being a manufacturing method of a nitride semiconductor laser element provided with the above and establishing a laser beam waveguide field in dislocation concentrated regions and abbreviated parallel on a low dislocation field, the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this shall be not less than 40 micrometers.

[Claim 13]A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to claim 12 characterized by the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a low dislocation field center region of the maximum contiguity in this being not less than 30 micrometers when making the Chuo Line portion between adjacent dislocation concentrated regions into a low dislocation field center region.

[Claim 14]the inside of a low dislocation field --- dislocation concentrated regions --- abbreviated --- using a nitride semiconductor substrate which has a high luminescence field of parallel stripe shape, A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to claim 12 the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this being not less than 30 micrometers.

[Claim 15]A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to any one of claims 12 to 14 the distance  $d$  being not less than 60 micrometers.

[Claim 16]A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to any one of claims 12 to 15, wherein the distance  $P$  between adjacent dislocation concentrated regions uses a not less than 140-micrometer nitride semiconductor substrate.

[Claim 17]A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to claim 16, wherein the distance  $P$  uses a not less than 300-micrometer nitride semiconductor substrate.

[Claim 18]mutual --- abbreviated --- on a nitride semiconductor substrate which has a high luminescence field of two or more parallel stripe shape, It is a manufacturing method of a nitride semiconductor laser element including a process of forming a nitride semiconductor layer containing a laminated structure of a nitride semiconductor provided with a laser beam waveguide field of stripe shape, A manufacturing method of a nitride semiconductor laser element characterized by the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this being not less than 30 micrometers while establishing a laser beam waveguide field in a high luminescence field and abbreviated parallel.

[Claim 19]A manufacturing method of the nitride semiconductor laser element according to any one of claims 15 to 17 which quotes claim 13 the distance  $t$  being not less than 50 micrometers, claim 14, claim 18, claim 13, or claim 14.

---

[Translation done.]

#### \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

#### DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]  
[Field of the Invention]This invention relates to the nitride semiconductor laser element using a nitride semiconductor as a substrate especially about the semiconductor optical apparatus provided with a nitride semiconductor laser element, its manufacturing method, and a nitride semiconductor laser element as a light source.

[0002]

[Description of the Prior Art] The semiconductor laser element oscillated from ultraviolet to a visible region is made as an experiment with the nitride semiconductor material represented by GaN, AlN, InN(s), and those mix crystals. The semiconductor laser element reported by Japanese = journal = OBU = applied = physics 39 No. L647-L650 page [Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39 (2000) pp.L647-650] is also this example, Forming the SiO<sub>2</sub> mask pattern which has an opening of periodic stripe shape on a GaN board, forming on this the laminated structure of a nitride semiconductor which has a stripe shape waveguide (ridge stripe structure), and forming a nitride semiconductor laser element on said GaN layer is shown. Using the following method is reported to manufacture of the substrate.

[0003] On the ground GaN in which the SiO<sub>2</sub> mask pattern (cycle of 20 micrometers) with the opening of periodic stripe shape was formed, By the MOCVD method (Metalorganic Chemical Vapor Deposition), the GaN layer of 15-micrometer thickness is formed and a wafer with the flat surface is obtained. This is art called ELOG (Epitaxially Lateral Overgrown), and is the technique of reducing a defect by use of lateral growth. The GaN layer of 200-micrometer thickness is formed by the usual HVPE method (Hydride Vapor Phase Epitaxy), and a GaN board is manufactured by removing a ground. In this way, the life characteristic of the obtained semiconductor laser was 30 mW in 60 \*\*, and was estimated life expectancy 15000 hours.

[0004] [Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the semiconductor laser element of the statement, the manufacturing method of the substrate needed 3 times of crystal growth (ground growth, MOCVD growth, HVPE growth) for said report, it was complicated and there was a problem in productivity. Still a laser oscillation life was not enough, either and was not enough as the life in high-output (for example, 70 \*\*, 60 mW) conditions. [ of further an elevated temperature ]

[0005] This invention was made in view of such a point, and an object of this invention is to provide a further outstanding semiconductor laser element and a simple manufacturing method for the same of a laser oscillation life.

[0006] [Means for Solving the Problem] A nitride semiconductor substrate explained in this specification is a substrate which comprised aluminum<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N (0<=x<1, 0<=y<1, 0<=z<1, x+y+z=1) at least. About 20% or less of nitrogen elements whose nitride semiconductor substrates are the constituent may be replaced by one of elements at least among element groups of As, P, and Sb.

[0007] as a nitride semiconductor substrate --- most --- desirable --- duality --- it is a GaN board used as a crystal. duality --- change of a presentation is lost also when growing epitaxially on it, while forming becomes fixed and a thing of the characteristic stable as a substrate becomes is easy to be obtained by considering it as a crystal. Good conductivity comes to be obtained by being referred to as GaN. It is an AlGaIn board if it ranks second. Like an AlGaIn board, by using as a substrate material whose refractive index is smaller than GaN, when it constitutes a semiconductor laser of ultraviolet - a blue area from an above-mentioned material system, optical confinement to an active layer of a laser beam becomes good.

[0008] Impurities, such as a dopant of a n type [ nitride semiconductor substrate ] or a p type, may be added. As an impurity, Cl, O, S, Se, Te, C, Si, germanium, Zn, Cd, Mg, Be, etc. can be used. Below 5x10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup> of the total addition of the impurity are [ more than 5x10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup> ] preferred. Si among said impurity groups, germanium, O, Se, or Cl of especially an impurity for a nitride semiconductor substrate to have n type conductivity is preferred.

[0009] A nitride semiconductor layer laminated by nitride semiconductor substrate explained in this specification is a layer which comprised aluminum<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N (0<=x<1, 0<=y<1, 0<=z<1, x+y+z=1) at least. About 20% or less of nitrogen elements whose nitride semiconductor layers are the constituent may be replaced by one of elements at least among element groups of As, P, and Sb.

[0010] Impurities, such as a dopant of a n type [ nitride semiconductor layer ] or a p type, may be added. As an impurity, Cl, O, S, Se, Te, C, Si, germanium, Zn, Cd, Mg, Be, etc. can be used. Below 5x10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup> of the total addition of the impurity are [ more than 5x10<sup>16</sup>/cm<sup>3</sup> ] preferred. Si among said impurity groups, germanium, S, Se, or Te of especially an impurity for a nitride semiconductor layer to have n type conductivity is preferred, and Mg, Cd, or Be of especially an impurity for having p type conductivity is preferred.

[0011] An active layer explained in this specification shall refer to a general term of a layer which comprised a well layer or a well layer, and a barrier layer. For example, an active layer of single quantum well structure comprises only one well layer, or comprises a barrier layer / a well layer / a barrier layer. An active layer of multiple quantum well structure comprises two or more well layers and two or more barrier layers.

[0012] When an index which shows a field and a direction of a crystal is negative, a rule of crystallography

attaches and writes a horizontal line on an absolute value, but since such a notation is not made, before an absolute value, a negative sign "-" is attached and a negative index is expressed with this specification.

[0013] In order to attain said purpose, a nitride semiconductor laser element provided with a nitride semiconductor substrate and a nitride semiconductor layer laminated on it in this invention. A nitride semiconductor substrate has dislocation concentrated regions of stripe shape, and a low dislocation field which is fields except dislocation concentrated regions. A nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape. A laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, it is dislocation concentrated regions and abbreviated parallel, and the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this has composition which is not less than 40 micrometers. Influence of a rearrangement of a substrate to a laser beam waveguide field is suppressed, and it becomes a semiconductor laser element with a long laser oscillation life because shift not less than 40 micrometers of laser beam waveguide fields of a nitride semiconductor layer from dislocation concentrated regions of a nitride semiconductor substrate and you make it located on a low dislocation field.

[0014] A nitride semiconductor laser element provided with a nitride semiconductor substrate and a nitride semiconductor layer laminated on it in this invention again, a nitride semiconductor substrate — mutual — abbreviated — with dislocation concentrated regions of two or more parallel stripe shape. Have a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, and a nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape. A laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, and are dislocation concentrated regions and abbreviated parallel. When making into a low dislocation field center region the Chuo Line portion between dislocation concentrated regions which the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this is not less than 40 micrometers, and adjoin each other. The horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a low dislocation field center region of the maximum contiguity in this has composition which is not less than 30 micrometers. When two or more dislocation concentrated regions exist in a nitride semiconductor substrate, a field where character differs from the circumference for a while in the center section of the low dislocation field may produce. By shifting not less than 30 micrometers of laser beam waveguide fields, it becomes a semiconductor laser element with a still longer laser oscillation life from this low dislocation field center region.

[0015] A nitride semiconductor laser element provided with a nitride semiconductor substrate and a nitride semiconductor layer laminated on it in this invention again, a nitride semiconductor substrate has dislocation concentrated regions of stripe shape, and a low dislocation field which is fields except dislocation concentrated regions. A low dislocation field has a high luminescence field of stripe shape, and dislocation concentrated regions and a high luminescence field are abbreviated parallel. A nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape, a laser beam waveguide field is located on a low dislocation field, and they are dislocation concentrated regions and abbreviated parallel. The horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this is not less than 40 micrometers, and the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this has composition which is not less than 30 micrometers. The circumference is a field where character differs for a while, and a high luminescence field is shifting not less than 30 micrometers of laser beam waveguide fields from this field, and serves as a long lasting semiconductor laser element.

[0016] As for the distance  $P$  between adjacent dislocation concentrated regions in a nitride semiconductor substrate, it is desirable that it is not less than 140 micrometers. It is for making it easy to shift a laser beam waveguide field from dislocation concentrated regions when manufacturing.

[0017] As for this distance  $P$ , it is desirable that it is 1000 micrometers or less. It is for avoiding that an unnecessary portion which is not located down the laser beam waveguide field among low dislocation fields becomes excessive.

[0018] As a nitride semiconductor substrate — the [1-100] direction — dislocation concentrated regions — abbreviated — a parallel thing can be used.

[0019] A nitride semiconductor laser element provided with a nitride semiconductor substrate and a nitride semiconductor layer laminated on it in this invention again, A nitride semiconductor substrate has a high luminescence field of stripe shape, and a nitride semiconductor layer has a laser beam waveguide field of stripe shape. Laser beam waveguide fields are a high luminescence field and abbreviated parallel, and the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity has composition which is not less than 30 micrometers. The circumference is shifting not less than 30 micrometers of laser beam waveguide fields from a high luminescence field where character differs for a while, and it becomes a long lasting semiconductor laser element.

[0020] As a nitride semiconductor substrate — the [1-100] direction — a high luminescence field — abbreviated — a parallel thing can be used.

[0021]A nitride semiconductor layer shall have a quantum well active layer containing a well layer which comprises  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ).

[0022]A nitride semiconductor layer shall have a quantum well active layer containing a well layer which comprises a nitride semiconductor which contains one of elements at least among As, P, and Sb.

[0023]In this invention, a semiconductor optical apparatus is equipped with the above-mentioned nitride semiconductor laser element as a light source.

[0024]this invention --- again --- mutual --- abbreviated --- with dislocation concentrated regions of two or more parallel stripe shape. On a nitride semiconductor substrate which has a low dislocation field which is a field except dislocation concentrated regions, in a manufacturing method of a nitride semiconductor laser element including a process of forming a nitride semiconductor layer containing a laminated structure of a nitride semiconductor provided with a laser beam waveguide field of stripe shape, while establishing a laser beam waveguide field in dislocation concentrated regions and abbreviated parallel on a low dislocation field, the horizontal distance  $d$  of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions of the maximum contiguity in this shall be made to be not less than 40 micrometers. If it does in this way, influence of a rearrangement of a substrate to a laser beam waveguide field can be suppressed, and a semiconductor laser element with a long laser oscillation life will be obtained.

[0025]When making the Chuo Line portion between adjacent dislocation concentrated regions into a low dislocation field center region, the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a low dislocation field center region of the maximum contiguity in this may be made to be not less than 30 micrometers here. By shifting a laser beam waveguide field, a still longer lasting semiconductor laser element can be obtained from a low dislocation field center region where character may differ from the circumference for a while.

[0026]the inside of a low dislocation field --- dislocation concentrated regions --- abbreviated --- when using a nitride semiconductor substrate which has a high luminescence field of parallel stripe shape, the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this may be made to be not less than 30 micrometers. By shifting a laser beam waveguide field, a still longer lasting semiconductor laser element can be obtained from a high luminescence field where character differs from the circumference for a while.

[0027]The distance  $P$  between adjacent dislocation concentrated regions is good to use a not less than 140-micrometer nitride semiconductor substrate. It becomes easy to shift a laser beam waveguide field from dislocation concentrated regions.

[0028]This distance  $P$  is good to use a nitride semiconductor substrate of 1000 micrometers or less. It can avoid becoming a semiconductor laser element with an unnecessary large portion which is not located down the laser beam waveguide field among low dislocation fields, and a yield also improves.

[0029]this invention --- again --- mutual --- abbreviated --- on a nitride semiconductor substrate which has a high luminescence field of two or more parallel stripe shape. In a manufacturing method of a nitride semiconductor laser element including a process of forming a nitride semiconductor layer containing a laminated structure of a nitride semiconductor provided with a laser beam waveguide field of stripe shape, while establishing a laser beam waveguide field in a high luminescence field and abbreviated parallel, the horizontal distance  $t$  of a laser beam waveguide field and a high luminescence field of the maximum contiguity in this shall be made to be not less than 30 micrometers. A long lasting semiconductor laser element can be obtained also in this case.

[0030]As a nitride semiconductor substrate which has dislocation concentrated regions, it has the surface which a facet surface [11-22] side expresses, and serves as serrate uneven shape, and that in which dislocation concentrated regions are located under the pars basilaris ossis occipitalis of surface uneven shape can be used.

[0031]As a nitride semiconductor substrate which has a high luminescence field, it has the surface which a facet surface [11-22] side expresses, and serves as serrate uneven shape, and that in which a high luminescence field is located down the apex part of surface uneven shape can be used.

[0032]  
[Embodiment of the Invention]  
[Embodiment 1] drawing 1 is a cross section showing the semiconductor laser element 1 of the embodiment of the invention 1. Drawing 1 is the figure which looked at the semiconductor laser element 1 of this embodiment from the optical emission direction. In drawing 1, 10 is a n type GaN board, into the substrate 10, the dislocation concentrated regions 11 exist and portions other than dislocation-concentrated-regions 11 serve as a low dislocation field. All over a low dislocation field, the high luminescence field 12 exists in parallel with the dislocation concentrated regions 11 further. On the substrate 10, the nitride semiconductor layer (epitaxial growth layer) 13 is formed. The laser beam waveguide field 14 is located in the nitride semiconductor layer 13. The electrodes 15 and 16 are formed in the nitride semiconductor layer 13 upper surface and the substrate 10 undersurface, respectively. Although it has not appeared in the sectional view of drawing 1, the dislocation concentrated regions 11, the high luminescence field 12, and the laser beam waveguide

field 14 are extended to the depth direction of drawing 1, and serve as arrangement of abbreviated parallel mutually.

[0033]When the semiconductor laser element 1 of this embodiment was seen from the upper surface side (plane view), the distance of the laser beam waveguide field 14 and the dislocation concentrated regions 11 was  $d \approx 80$  micrometers and  $t \approx 120$  micrometers, when distance of  $d$ , the laser beam waveguide field 14, and the high luminescence field 12 was set to  $t$ . In this specification, the distance  $d$  and  $t$  shall be specified from the distance between the center positions of the laser beam waveguide field of each stripe shape, dislocation concentrated regions, and a high luminescence field.

[0034]The structure is also explained in more detail, explaining the manufacturing method of the semiconductor laser element 1 of this embodiment below.

[0035](Manufacturing method of a GaN board) The outline of the crystal growth method of the n type GaN board 10 is described first. As the slant face which consists of facet surfaces expresses the crystal of GaN, it is grown up maintaining the slant face. That is, a slant face is gradually moved to a growth direction. The rearrangements generated in the middle of a slant face spread and gather to the lower end of a slant face by this, and the part which existed as the parts which were the lower ends of the slant face were dislocation concentrated regions and a slant face serves as a low dislocation field.

[0036]There are some states in dislocation concentrated regions. For example, it may become polycrystal. It may become the single crystal slightly inclined to the surrounding low dislocation field. At least in the surrounding low dislocation, a growth direction may turn into the  $[000\bar{1}]$  direction conversely to the growth directions of a field being the  $[0001]$  directions. For this reason, a clear boundary produces between dislocation concentrated regions and a low dislocation field.

[0037]Since a slant face is moved to a growth direction, the shape of dislocation concentrated regions can be specified by in what kind of shape a facet surface is generated first. If a facet surface like the side of the pyramid which fluctuated conversely (the bottom in the bottom [A vertex.], on) is generated first, rearrangements gather in the part of the vertex of the pyramid, and dislocation concentrated regions will serve as linear shape parallel to a growth direction, and will form a pit. If a section generates a facet surface like the side of a V character-like slot first, rearrangements gather in the linear shape part of the bottom of the slot, and dislocation concentrated regions will serve as surface state parallel to a growth direction, and will form a stripe.

[0038]The mask which bars crystal growth can be used as a kind of the facet surface produced first. Crystal growth starts by the part in which the mask is not provided, a facet surface produces on the boundary of a part without a mask, and a certain part, with growth to a horizontal direction, a facet surface touches each other on a mask, and the point of contact serves as a starting position of dislocation concentrated regions. After a facet surface touches each other, the crystal growth to a perpendicular direction (original growth direction) is stabilized, it progresses, a facet surface is moved to a growth direction as it is, and dislocation concentrated regions are extended to the growth direction. If the mask which bars crystal growth is made into dot form, the upper and lower sides can generate a facet surface like the side of a reverse pyramid, and if a mask is made into linear shape, a section can generate a facet surface like the side of a V character-like slot. As a mask, or what is necessary is just to provide the layer of polycrystal, and the thin film of  $\text{SiO}_2$  is formed in the base surface.

[0039]The substrate which may laminate a semiconductor layer is obtained by grinding and mirror-plane-izing the surface after crystal growth. Produce a facet surface in the shape of a V character, and it is made for dislocation concentrated regions to serve as stripe shape, or many facet surfaces of the shape which surrounds a dot are produced a short cycle, and it is made for dislocation concentrated regions to serve as stripe shape macroscopically in this embodiment.

[0040]The concrete manufacturing method of the n type GaN board 10 is explained with reference to drawing 2. It is made to grow up by the HVPE method, on the support base 21, so that the n type GaN layer 22 may mainly be expressed on the surface while the facet surface [11-22] side 23 is growing. As a result, a surface sectional view form serves as serrate uneven shape. However, the portion which the  $[0001]$  side 26 expressed was slightly looked at by stripe shape in the vertex vicinity of heights. Drawing 2 (a) is a sectional view (only a part is displayed) explaining this state.

[0041]The HVPE method blows HCl gas into Ga melt which formed and heated Ga boat to the upstream part of the hot wall type reactor here. It sends below, and it is made to react to  $\text{NH}_3$  in a lower part. GaN is compounded [a base is provided in the downstream of a reactor,  $\text{NH}_3$  is blown, HCl is blown into heated Ga metal (melt), GaCl is compounded, ], and it is made for GaN to accumulate on a base.

[0042]A 2-inch (111) GaAs wafer was used as the support base 21. Although it is also possible for there to be no restrictions in particular in the material of the base 21, and to use common sapphire, in order to excise behind, it is preferred to stop futility in this way, using GaAs as a material.

[0043]the above-mentioned unevenness is  $P=400$  micrometer—pitch periodical structure — a drawing depth direction — a ridge — it has shape prolonged in \*\*. Thus, what is necessary is to form masks, such as  $\text{SiO}_2$

corresponding to the above-mentioned crevice, beforehand on the base 21, and just to perform crystal growth in the state where a facet expresses by making this into a seed, in order to specify a concavo-convex position.

That is, it is arranged in the pitch of  $P=400$  micrometers at stripe shape, and the shape is the continuous stripe shape or the dot form of a large number located on a straight line at intervals of approximately regulated so that a mask may become parallel to the  $[1-100]$  direction of a GaN crystal.

[0044]After the facet  $\{11-22\}$  side has expressed, about the technique (growing condition) of making crystal growth maintain, these people are indicating in detail to Japanese Patent Application No. No. 273882 [ 11 to ] which applied previously. The crystal which grows was used as the n type with doping O at the time of growth.

[0045]The 30-mm-high ingot was produced on the base 21 by continuing formation of a GaN crystal further, with such growth mode maintained. Drawing 2.(b) is a figure showing an ingot.

[0046]Slicing processing of this ingot was carried out with the slicer, and the flake (n type GaN board) was obtained. Polishing work of the flake was carried out and the n type GaN board 10 which are a diameter of 2 inch (about 5 cm) with the flat surface and 350 micrometers in thickness was obtained. The surface for growing epitaxially was considered as mirror-polishing finishing. Although this surface was made mostly (0001) into the field, in order the morphology of the nitride semiconductor layer 13 which grows epitaxially upwards is flat and to become good, (0001) it was desirable to have a comparatively small OFF angle of the range of 0.2–1 degree in the arbitrary directions from a field, and in order to make it especially surface surface smoothness become the minimum, it was preferred to consider it as the range of 0.4–0.8 degree. Drawing 2.(c) is a sectional view (only a part is displayed) of the n type GaN board 10 obtained in this way, and drawing 2.(d) is a plan (only a part is displayed).

[0047]In this way, the obtained GaN board 10 was evaluated as follows. First, the surface of the n type GaN board 10 was observed in detail under the microscope. The surface by which polishing work was carried out was not necessarily flat, and the field corresponding to the field (portion shown with the numerals 24 in drawing 2.(a)) which the maximum pars basilaris ossis occipitalis of the crevice had produced at the time of crystal growth had become depressed a little.

[0048]It etches by dipping a sample in the liquid which heated the mixed acid of sulfuric acid and phosphoric acid at 250 \*\*, and was made for an etch pit to come out to the surface. As a result, many etch pits appeared in the field corresponding to the field (portion shown with the numerals 24 in drawing 2.(a)) which the maximum pars basilaris ossis occipitalis of the crevice had produced at the time of crystal growth, and it became clear that this field was a field (dislocation concentrated regions) which the rearrangement (or crystal defect) is concentrating extremely. That is, the above-mentioned hollow was equivalent to this field.

[0049]It is thought in this way that the portion of the hollow was easier to be eroded than other portions, and has been produced in the polishing process for the reason since the rearrangement is concentrating extremely. The width of dislocation concentrated regions was about 10–40 micrometers. The other field had turned into a low dislocation field of  $\text{EPD}(\text{etch pit density})10^4 \sim 10^5 / \text{cm}^2$  stand. EPD of dislocation concentrated regions was observed so that more greatly triple or more figures than this. Thus, since several figures dislocation density was the portion which is large compared with the circumference, a field which is expressed with the numerals 11 was called "dislocation concentrated regions" on these specifications.

[0050]The sample was irradiated with ultraviolet rays (an Hg lamp 365nm luminescent line can be used), and the luminescence from the surface was observed using the microscope (fluorescence microscope observation). As a result, the field of stripe shape which had a boundary in the center of the low dislocation field inserted into the dislocation concentrated regions 11 comparatively clearly and where the circumference differs from contrast was observed. This field has luminescence (luminescence) stronger than the circumference observed with the naked eye, and is a field which is a little yellowish and is observed brightly.

[0051]This field is the portion 25 the facet surface  $\{0001\}$  side was growing expressing at the time of crystal growth, and is a field expressed with the numerals 12 to drawing 1 and drawing 2.(d). Thus, a dopant is incorporated and being observed unlike the circumference can consider the reasons of condition differing from the circumference. From the above-mentioned fact, this field was called the "high luminescence field" on these specifications. Since the portion 25 the facet surface  $\{0001\}$  side was growing at the time of crystal growth expressing was not necessarily what advances uniformly with the same width, although the width of the high luminescence field 12 had fluctuation a little, it was about 30 micrometers in the large place.

[0052]Such a high luminescence field may hardly be formed depending on conditions when creating the above-mentioned ingot, and the position (distance from a support base) in an ingot. However, mostly, a central field is a portion corresponding to the field of the vertex vicinity of the above-mentioned unevenness of the portion



pitched by the dislocation concentrated regions 11, and also calls this a "low dislocation field center region" on these specifications. In this specification, the portion explained as a high luminescence field can be transposed to a low dislocation field center region, and can be considered.

[0053] The crystal growth for formation of the above-mentioned GaN board 10, Also with vapor phase epitaxy other than the HVPE method, it is good and The MOCVD method (Metalorganic Chemical Vapor Deposition), it can carry out, even if it uses the MOC method (Metalorganic Chloride Vapor Phase Epitaxy), the sublimating method, etc.

[0054] As the base 21 used for the growth for formation of the GaN board 10, the crystal substrate which has symmetry or 3 times symmetry in the circumference of an axis other than GaAs 6 times can be used. That is, the crystal which is a hexagonal system as a crystal system, or is cubic system is mentioned. If a field is used in the case of cubic system (111), there is symmetry 3 times. The crystal of hexagonal systems, such as sapphire, SiC, quartz,  $\text{NdGaO}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , GaN, and AlN, can be used. The field (111) board of cubic system, such as Si, a spinel, MgO, and GaP, can also be used. These grow up GaN in respect of C.

[0055] There are two kinds of choices also in how to provide the mask for formation of the GaN board 10. One is the technique of forming a mask directly on a base. In this case, it is better to devise depositing a GaN buffer layer on the base exposed surface inside a mask opening in advance of an epilayer etc. Another is the technique of forming the GaN layer beforehand comparatively thinly on the base, and forming a mask on it. Latter one advances smoothly and its growth is more preferred in many cases.

[0056] Although the example which used GaN as the substrate 10 here was explained, it may replace by the nitride semiconductor substrate which comprises material which was written in the column of "The means for solving a technical problem."

[0057] In the manufacturing method of the nitride semiconductor substrate shown in the Prior art, are reducing the rearrangement by using transverse direction growth art (ELOG art) as growth of a substrate crystal is advanced, but. The position in particular that a rearrangement (defect) produces is not controlled, but a rearrangement comes to be distributed over Mr. \*\*\* within a field as crystal growth progresses. On the other hand, the position of dislocation concentrated regions is controlled by the nitride semiconductor substrate used by this invention by the position (a pitch is several 100-micrometer order) through growth of a substrate crystal. Such a difference is among the GaN board of conventional technology, and the nitride semiconductor substrates used by this invention.

[0058] Therefore, when making the substrate of comparable dislocation density profitably like, the direction of the manufacturing method of the substrate crystal explained by this embodiment has little number of times of crystal growth, and ends, and productivity becomes good. When such a substrate was used, about whether it is suitable if the laser beam waveguide field in a semiconductor laser element is established in what kind of position, it was not known conventionally. This point is explained in detail later.

[0059] How to form nitride semiconductor layer 13 grade on (epitaxial growth of a nitride semiconductor layer), next the n type GaN board 10, and produce the semiconductor laser element 1 is explained with reference to drawing 3. Drawing 3 is the mimetic diagram which expressed the semiconductor laser element 1 of drawing 1 so that the layer system of the nitride semiconductor layer 13 might be shown in detail, and omitted the statement about the above-mentioned structure in the substrate 10.

[0060] Using an MOCVD system, to TMGa (trimethylgallium) or TEGa (triethylgallium) of  $\text{NH}_3$  of V group material, and a group III material,  $\text{SiH}_4$  as a dopant raw material was added and the n type GaN layer 102 of 3 micrometers of thickness was formed in the n type GaN board 10 with the substrate temperature of 1050 \*\*. Subsequently, with the substrate temperature of 800 \*\*, TMIn (trimethylindium) as a group III material was added to the above-mentioned raw material, and 40 nm of n type  $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  crack prevention layers 103 were grown up. Next, substrate temperature was raised to 1050 \*\*, the group III material of TMAI (trimethylaluminum) or TEAl (triethylaluminum) was also used, and the n type aluminum  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  cladding layer 104 of 1.2-micrometer

thickness was grown up. Si was  $\text{cm}^{-3}$  [ $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3 - 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ] added as a n type impurity. Then, 0.1 micrometer of n type GaN light guide layers 105 (Si-impurity concentration  $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ) were grown up.

[0061] Then, the active layer (multiple quantum well structure) 106 which lowers substrate temperature to 750 \*\* and comprises the 4-nm-thick  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  well layer of three cycles, and an 8-nm-thick  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  barrier layer, it was made to grow up in order of a barrier layer / well layer / barrier layer / well layer / barrier layer / well layer / barrier layer.  $\text{SiH}_4$  (Si-impurity concentration is  $1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ) was added to both the barrier layer or the barrier layer, and the well layer at that time. When growth interruption for less than 180 seconds is carried out 1 second or more between a barrier layer, a well layer or a well layer, and a barrier layer,

the surface smoothness of each class improves, luminescence half breadth decreases, and it is desirable. [0062] When adding As to an active layer, AsH<sub>3</sub> (arsine) or TBAs (tertiarybutyl arsine), When adding P to an active layer and adding Sb for PH<sub>3</sub> (phosphine) or TBP (tertiarybutyl phosphine) to an active layer, it is good to use TMSb (trimethyl antimony) or TESb (triethylantimony) for a raw material, respectively. When forming an active layer, the organic raw material which contains N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (hydrazine), C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>H<sub>8</sub> (dimethylhydrazine), or N in addition to NH<sub>3</sub> may be used as an N raw material.

[0063] Next, substrate temperature is again raised to 1050 \*\*, The p type aluminum<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N cladding layer 109 of 108 or 0.5 micrometer of p type GaN light guide layers of 107 or 0.1 micrometer of 20-nm-thick p type aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N carrier block layers, and the 0.1-micrometer p type GaN contact layer 110. It was made to grow up one by one. EtCP<sub>2</sub>Mg (screw ethylcyclopentadienyl magnesium) was used for the raw material as a p

type impurity, and Mg was added by  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 - 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ . It is more desirable to have made it the p type impurity concentration of the p type GaN contact layer 110 become high toward the direction of the p electrode 112. Thereby, the contact resistance by p electrode formation decreases. In order to remove residual hydrogen in the p type layer which has barred activation of Mg which is a p type impurity, a small amount of oxygen may be made to mix during p type layer growth.

[0064] Thus, after growing up the p type GaN contact layer 110, all the inside of the reactor of an MOCVD system was changed to nitrogen carrier gas and NH<sub>3</sub>, and temperature was dropped by a part for 60 \*\*/. When substrate temperature became 800 \*\*, after suspending supply of NH<sub>3</sub> and standing by with the substrate temperature for 5 minutes, it descended to the room temperature. As for the retention temperature of the substrate here, for 650 to 900 \*\* was preferred, and the standby time of 10 or less minutes was preferred 3 minutes or more. The descending speed of temperature has the preferred above by 30 \*\*/.

[0065] Thus, as a result of the Raman measurement estimating the produced growth film, even if it did not perform p type-ized annealing after wafer extraction from an MOCVD system, the characteristic of p-type-izing was already shown after growth (Mg was being activated). The contact resistance by p electrode formation also falls. When the conventional p type-ized annealing was combined in addition to the above-mentioned technique, the activation rate of Mg improved more and was preferred.

[0066] In composition ratio may be except 0.07 and there may not be the In<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N crack prevention layer 103 of InGaN crack prevention layer 103 the very thing. However, when the lattice mismatching of the cladding layer 104 and the GaN board 10 becomes large, the direction which inserted said InGaN crack prevention layer 103 is more preferred in respect of crack prevention. In order to prevent a crack, it is also preferred to replace with Si and to use germanium as a n type impurity in each n type layer.

[0067] Although the active layer 106 is composition which starts with a barrier layer and a barrier layer finishes, it may be composition which starts with a well layer and a well layer finishes. When the number of layers of the well layer was not only the three above-mentioned layers but ten layers or less, its threshold current density was low, and room temperature continuous oscillation was possible for it. Threshold current density was low preferred more than two-layer especially at the time of six or less layers. It may be made to contain aluminum in the active layer furthermore explained above.

[0068] An impurity may not be added although requirements addition of the Si was carried out at both the layers of the well layer which accomplishes the active layer 106 here, and a barrier layer. However, it was stronger for luminescence intensity to add an impurity like Si to an active layer. As such an impurity, it can use combining O, C, germanium, Zn or Mg, or 2 or more [ these ] in addition to Si. Total of the addition of an impurity had preferred abbreviation  $1 \times 10^{17} - 8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  grade. The layer which adds an impurity may add an impurity only in layer of not only both the layers of a well layer and a barrier layer but one of the two.

[0069] The p type aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N carrier block layers 107 may be except this presentation. Since it will p-type-ize by growth at low temperature more if referred to as AlGaN which added In, the damage which the active layer 106 receives at the time of crystal growth can be reduced, and it is desirable. Although there may not be carrier-block-layers 107 the very thing, it was lower for threshold current density to provide this. This is because there is work in which the carrier block layers 107 confine a career in the active layer 106. By making it high, a career closes, eye \*\* becomes strong and the Al composition ratio of the carrier block layers 107 is preferred. If Al composition ratio is made small to the grade by which a career closes and eye \*\* is held, the carrier mobility in carrier block layers becomes large, electrical resistance becomes low, and it is desirable.

[0070] Here, although the aluminum<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N crystal was used as the p type clad layer 109 and the n type clad layer 104, the composition ratio of aluminum may be AlGaN the crystal of 3 yuan of those other than 0.1. If the

mixed crystal ratio of aluminum becomes high, an energy gap difference and refractive index difference with the active layer 106 will become large, a carrier and light are efficiently confined in an active layer, and laser oscillation threshold current density can be reduced. If Al composition ratio is made small to the grade by which a carrier and light close and eye \*\* is held, the carrier mobility in a cladding layer becomes large, and operating voltage of an element can be made low. It is also preferred to make Al composition ratio of the p type clad layer 109 about into 0.06 to 0.09 in consideration of this point.

[0071]As for the thickness of the n type AlGaIn clad layer 104, 0.7 micrometer - 1.5 micrometers are preferred. Thereby, formation of single Mode of vertical transverse mode, improvement in the optical property of the increase of optical confinement efficiency and laser, and reduction of laser threshold current density can be aimed at.

[0072]Although the cladding layers 104 and 109 considered it as the AlGaIn mix crystal of 3 yuan in the above, they may be 4 yuan mix crystals, such as AlInGaIn, AlGaNP, and AlGaInAs. The p type clad layer 109 may have a superstructure which consists of a p type AlGaIn layer and a p type GaIn layer, a superstructure which consists of a p type AlGaIn layer and a p type AlGaIn layer, or a superstructure which consists of a p type AlGaIn layer and a p type InGaIn layer, in order to reduce electrical resistance.

[0073]Here, although the crystal growth method by an MOCVD system was explained, molecular beam epitaxy method (MBE) and hydride vapor phase growth (HVPE) may be used.

[0074]Then, each class of the nitride semiconductor layer 13 takes out the epiwafer formed on the n type GaIn board 10 from an MOCVD system, and explains the process process processed into a nitride semiconductor laser element chip.

[0075](Element-ized process) It forms in the necessary position which explained the ridge stripe part which is the laser beam waveguide field 14 to the n type GaIn board 10 using drawing 1. This performs even the lower end in the middle of the p type clad layer 109 by leaving and etching the portion of stripe shape from the epiwafer surface side. Here, 1-3 micrometers of stripe width were 1.3-2 micrometers preferably, and 0-0.1 micrometer of distance from the p type guide layer 108 of an etching bottom was carried out. Then, the insulator layer 113 was formed in portions other than a ridge stripe part. Here, AlGaIn was used as the insulator layer 113. Since it had exposed, on this portion and the insulator layer 113, the p electrode 112 was vapor-deposited in order of Pd/Mo/Au, and the p type GaIn contact layer 110 which remained without being etched formed it.

[0076]As the insulator layer 113, an oxide or nitrides, such as silicon, titanium, zirconia, tantalum, and aluminum, can also be used in addition to the above, and either Pd/Pt/Au, Pd/Au or nickel/Au may be used for others as a material of the p electrode 112.

[0077]The thickness of a wafer is adjusted to 80-200 micrometers, and it was made to be easy to divide the wafer behind by grinding the epiwafer rear-face side (substrate side). The n electrode 111 was formed in the back side of a substrate in order of Hf/aluminum. What transposed Hf/aluminum/Mo/Au, Hf/aluminum/Pt/Au, Hf/aluminum/W/Au, Hf/Au, Hf/Mo/Au, and Hf of these to Ti and Zr may be used for others as a material of the n electrode 111.

[0078]Finally, cleavage of the epiwafer was perpendicularly carried out to the direction of a ridge stripe, and the Fabry Perot resonator of 600 micrometers of cavity length was produced. 250 to 1000 micrometers of cavity length are preferred. By this process, the wafer became a gestalt of the bar shape with which each laser device was connected horizontally. The resonator edge face of a nitride semiconductor laser element in which the stripe was formed in accordance with the  $\langle 1-100 \rangle$  direction is  $\{1-100\}$  side of a nitride semiconductor crystal. Cleavage gave the marking crack to the entire wafer surface with the scribe, and was not performed, but gave the marking crack only to the portion corresponding to some wafers, for example, the both ends of a wafer, or chip both ends with the scribe, and carried out cleavage with this as the starting point. DFB (Distributed Feedback) which provides a diffraction grating in an inside and returns it to it in addition to the technique returned in the end face, and DBR (Distributed Bragg Reflector) which provides a diffraction grating outside and returns it to it may be used.

[0079]After forming the resonator edge face of a Fabry Perot resonator, the dielectric film of  $\text{SiO}_2$  which has the reflectance of about 80%, and  $\text{TiO}_2$  was vapor-deposited to this end face by turns, and the dielectric

multilayered reflecting film was formed in it. A dielectric multilayer reflecting film may be formed with other dielectric materials. The semiconductor laser element 1 of drawing 1 was obtained by furthermore dividing a bar into each laser device after this. Having arranged the laser beam waveguide field 14 (ridge stripe) in the center of a laser chip, the breadth W of the laser device 1 was 400 micrometers.

[0080]As the dislocation concentrated regions 11 have been arranged in the pitch of  $P=400$  micrometers at the n type GaIn board 10 from the first, and the high luminescence field 12 has been arranged in the center section of each low dislocation field and being explained using drawing 1. As  $d=80$  micrometers and  $t=120$  micrometers,

since each field had been arranged, one dislocation concentrated regions and one high luminescence field were included in each semiconductor laser element (chip). That is, in this embodiment, it is  $W=P$  and is  $2(t+d)=P$ .

[0081]The chip of the nitride semiconductor laser element 1 shown in drawing 1 and drawing 3 as mentioned above was produced.

[0082](Characteristic of a semiconductor laser element) In the obtained nitride semiconductor laser element 1, when a current constriction part existed in an optimal position, more than laser oscillation life 5000 hour was attained under the conditions of 60 mW of laser outputs, and 70 ° of ambient temperature. When this invention persons produced the semiconductor laser and examined on the same conditions by the above-mentioned conventional technology, the life was about 1000 hours.

[0083](Physical relationship of a laser beam waveguide field and a substrate) The nitride semiconductor substrate 10 of this embodiment has structure like the dislocation concentrated regions of stripe shape, a low dislocation field, a high luminescence field, or a low dislocation field center region like \*\*\*\*. Or it was produced using the above manufacturing methods. When manufacturing a nitride semiconductor laser element using such a nitride semiconductor substrate, this invention persons found out that a laser oscillation life changed by in which position on a nitride semiconductor substrate the laser beam waveguide field of a nitride semiconductor laser element is formed. Below, the range with the preferred distance  $d$  and  $t$  is examined in detail.

[0084]Drawing 4 is produced almost like the semiconductor laser element 1 of this embodiment on a  $P=600$ -micrometer  $n$  type GaN board, it is the graph which plotted the laser oscillation life of the semiconductor laser element of shoes to change the position of the laser beam waveguide field 14 into to the distance  $d$  of the laser beam waveguide field 14 and the dislocation concentrated regions 11. The maximum of the evaluated distance  $d$  is 200 micrometers. Evaluation was performed on 60 mW of laser outputs, and the conditions of 70 ° of ambient temperature. As a result, 3000 hours of a working life were attained at  $d=40$  micrometers, and 5000 hours or more and sufficient characteristic were obtained at  $d=60$  micrometers. Measurement of a life goes only till 5000 hours, but the upward arrow in drawing 4 shows that a laser oscillation life is 5000 hours or more.

[0085]In the case of  $d \leq 10$  micrometers, the laser beam waveguide field 14 was located in general on the dislocation concentrated regions 11, but the characteristic deteriorated extremely below congratulation accuracy life time in this case. When the distance  $d$  was 20-30 micrometers, the phenomenon in which driving current went up gradually with progress of time was seen, and when this reached near 200 mA, laser oscillation became impossible by thermal run-away. When reverse bias was impressed to pn junction and the leakage current of pn junction was evaluated, in this way, in the element that driving current goes up gradually, as compared with a  $d=60$ -micrometer element, there was much leakage current clearly, and this was increasing with lapsed time.

[0086]In the semiconductor laser element formed near the dislocation concentrated regions 11 of the GaN board 10 produced by the above-mentioned technique. Since the rearrangement (defect) had occurred in the pn junction of the laser beam waveguide field 14 neighborhood, or since a pn junction surface was not flat and was in disorder under this influence, the leak which increases with progress of such driving time occurred, and that in which the life characteristic deteriorated was presumed. It turned out for at least  $d=40$  micrometers of things to set to  $d \geq 60$  micrometers to be required preferably as a result.

[0087]Drawing 5 is produced almost like the semiconductor laser element 1 of this embodiment to  $n$  type GaN board top of  $P=600$  micrometers 10, it is the graph which plotted the laser oscillation life of the semiconductor laser element of shoes to change the position of the laser beam waveguide field 14 into to the distance  $t$  of the laser beam waveguide field 14 and the high luminescence field 12. The maximum of the evaluated distance  $t$  is 200 micrometers. Evaluation was performed on 60 mW of laser outputs, and the conditions of 70 ° of ambient temperature. As a result, 3000 hours of a working life were attained at  $t=30$  micrometers, and 5000 hours or more and sufficient characteristic were obtained at  $t=50$  micrometers. The upward arrow in drawing 5 expresses that a laser oscillation life is 5000 hours or more like drawing 4.

[0088]In the case of  $t=0$  micrometer, the laser beam waveguide field 14 was located on the high luminescence field 12, but the characteristic deteriorated in about life 100 hour in this case. When the laser beam waveguide field 14 had been arranged to about 12 high luminescence field, the rise of element voltage and the rise of the drive current value were seen, and, thereby, it was thought that an element life deteriorated. In the substrate 10, the field where resistance is higher than the circumference exists in the high luminescence field (or low dislocation field center region) 12 and its neighborhood, therefore it is thought that influence appeared in element voltage. when element voltage was observed in detail, in  $t=50$  micrometers, it became about 1 law, but in the field smaller than it, it was going up a little and turned out for at least  $t \geq 30$  micrometers of things to set to  $t \geq 50$  micrometers to be required preferably as a result.

[0089](The range with a preferred substrate), next the range with the preferred pitch  $P$  in which the dislocation concentrated regions 11 in the GaN board 10 appear were examined. As mentioned above, in production of the GaN board 10, it is important to make it surface sectional shape turn into serrate uneven shape, making a facet

surface {11-22} side express. By carrying out like this, a low dislocation field and the high luminescence field 12 can be generated, and the portion which only necessary distance separated from the both sides of the dislocation concentrated regions 11 and the high luminescence field 12 serves as a suitable field to form a laser waveguide field. therefore, if more than the twice of 70 micrometers of sums with 30 micrometers which is the minimum of 40 micrometers of the distance d which acquires an above-mentioned effect, and the minimum of the distance t which acquires an above-mentioned effect are not taken as the pitch P, the field which forms a laser waveguide field will be lost. Therefore, the range of the distance P is limited to  $P \geq 140$  micrometers.

[0090] The value of the distance P is limited also from a point whether to be able to maintain growth keeping the position of uneven shape constant, in formation of the GaN board 10. Because, when the position of uneven shape shifts from an early position with advance of growth, it is because it becomes difficult to set a laser waveguide field as a position to the GaN board 10 which the pitch P stops having been fixed and was obtained. When the range of P was examined from this point, in about  $P < 50$  micrometers, such a state could not be maintained but it turned out that it is desirable to be referred to as  $P \geq 100$  micrometers.

[0091] When it was made to generate greatly, and it was [ way ] good and the facet surface {11-22} side was  $P \geq 300$  micrometers, considering the function to centralize a rearrangement on the dislocation concentrated regions 11, as mentioned above, the triple or more figures defect density in the dislocation concentrated regions 11 and a low dislocation field came to differ, and was preferred. Although the maximum of the distance P is not specified from these requests, if it enlarges not much, since the wafer obtained by unevenness on the surface of an ingot obtained becoming large will be able to be taken and a number will become small, about 1000 micrometers is suitable. In conclusion, preferably,  $140 \leq P$  is required, and if it dares to specify a maximum,  $P \leq 1000$  will be preferred [ what is necessary is just  $300 \leq P$ , and ].

[0092] Although the semiconductor laser element of <Embodiment 2> book embodiment 2 is the same as the semiconductor laser element 1 of Embodiment 1, the values of the distance P, d, and t, etc. differ variously. Drawing 6 is a figure showing the arrangement relationship of the laser beam waveguide field 14 of the semiconductor laser element of this embodiment, the dislocation concentrated regions 11 of a n type GaN board, and the high luminescence field 12, and expresses with the numerals 61 and 62 the field used as each semiconductor laser element (chip) among the n type GaN boards 60. In this Embodiment 2 and Embodiments 3 and 4 mentioned later, although the physical relationship of the laser beam waveguide field 14, the dislocation concentrated regions 11, and the high luminescence field 12 differs from Embodiment 1, also in each embodiment, the numerals 1 show a semiconductor laser element like Embodiment 1.

[0093] In the manufacturing method of the semiconductor laser element 1 of this embodiment, the pitch P of the dislocation concentrated regions 11 of the n type GaN board 60 is 500 micrometers, arranges the two laser beam waveguide fields 14 to 1 pitch, and forms the two semiconductor laser elements 1 per pitch (chip). The breadth W of each semiconductor laser element 1 (fields 61 and 62) is 250 micrometers.

[0094] The distance d with the dislocation concentrated regions 12 of the laser beam waveguide field 14 and the maximum contiguity about one field 61 is 100 micrometers, and the distance t of the laser beam waveguide field 14 and the low dislocation field center region 12 of the maximum contiguity is 150 micrometers. The distance d with the dislocation concentrated regions 11 of the laser beam waveguide field 14 and the maximum contiguity about the field 62 of another side is 150 micrometers, and the distance t of the laser beam waveguide field 14 and the low dislocation field Manaka [ Hiroshi ] field 12 of the maximum contiguity is 100 micrometers.

[0095] There is a relation of  $2W = P$  to the width W of the fields 61 and 62 and the pitch P of the dislocation concentrated regions 11, and it is  $2(t+d) = P$ . When the distance d and t about the field 61 is expressed with d1 and t1 and the distance d and t about the field 62 is expressed with d2 and t2, it is  $d1 = t2$  and  $d2 = t1$ .

[0096] In one field 61, in the n type GaN board 60, the dislocation concentrated regions 11 accept one, and exist, and the high luminescence field 12 does not exist. In the field 62 of another side, the dislocation concentrated regions 11 do not exist in the n type GaN board 60, but the high luminescence field 12 accepts one and exists. Also in this embodiment, the range of the distance d, t, and P in which the effect of this invention appears is as having indicated to Embodiment 1, and the effect described by Embodiment 1 in this range is acquired.

[0097] The manufacturing method of the semiconductor laser element of <Embodiment 3> book embodiment 3 increases further the number of the semiconductor laser elements (chip) 1 produced to per [ 1 pitch P ] to four pieces. Like drawing 6, drawing 7 is a figure showing the arrangement relationship of the laser beam waveguide field 14 of a semiconductor laser element, the dislocation concentrated regions 11 of a n type GaN board, and the high luminescence field 12, and expresses with the numerals 71-74 the field used as each semiconductor laser element (chip) 1 among the n type GaN boards 70.

[0098] In the manufacturing method of the semiconductor laser element 1 of this embodiment, the pitch P of the dislocation concentrated regions 11 of the n type GaN board 70 is 800 micrometers, arranges the four laser beam waveguide fields 14 to 1 pitch, and forms the four semiconductor laser elements 1 per pitch (chip). The

breadth W of each semiconductor laser element 1 (fields 71-74) is equal, and is 200 micrometers, the distance d of the laser beam waveguide field 14 and the dislocation concentrated regions 11 of the maximum contiguity about the fields 71, 72, 73, and 74 located in a line in order. It is 80, 280, and 320 or 120 micrometers, respectively, and the distance t of the laser beam waveguide field 14 and the low dislocation field center region 12 of the maximum contiguity is 320, 120, and 80 or 280 micrometers, respectively.

[0099]As illustrated, the one dislocation concentrated regions 11 are included in the field 71, the one high luminescence field 12 is included in the field 73, and neither the dislocation concentrated regions 11 nor the high luminescence field 12 is included in the field 72 and the field 74. In the manufacturing method of the semiconductor laser element 1 of this embodiment, it is  $4W=P$  and is  $2(t+d)=P$  to each laser beam waveguide field 14.

[0100]Also in this embodiment, the range of the distance d, t, and P in which the effect of this invention appears is as having indicated to Embodiment 1, and the effect described by Embodiment 1 in this range is acquired.

[0101]Embodiment 2 or 3 makes <Embodiment 4> book embodiment 4 the width W pitch P conversely. Like drawing 6, drawing 8 is a figure showing the arrangement relationship of the laser beam waveguide field 14 of the semiconductor laser element of this embodiment, the dislocation concentrated regions 11 of a n type GaN board, and the high luminescence field 12, and expresses with the numerals 81 the field used as the semiconductor laser element (chip) 1 among the n type GaN boards 80.

[0102]In the manufacturing method of the semiconductor laser element 1 of this embodiment, the pitch P of the dislocation concentrated regions 11 of the n type GaN board 80 is 200 micrometers, and the breadth W of the semiconductor laser element 1 (field 81) is 300 micrometers. That is, the 2/3 semiconductor laser element 1 per pitch (chip) is formed (the one chip 1 is formed in 1.5 pitches). The distance d of the laser beam waveguide field 14 and the dislocation concentrated regions 11 of the maximum contiguity is 50 micrometers, and the distance t of the laser beam waveguide field 14 and the low dislocation field center region 12 of the maximum contiguity is 50 micrometers.

[0103]As illustrated, the dislocation concentrated regions 11 and the high luminescence field 12 which are included in the one semiconductor laser element (chip) 1 are all more than 1 or it. In the manufacturing method of the semiconductor laser of this embodiment, it is  $W=P(2/3)$  and is  $2(t+d)=P$  to each laser beam waveguide field 14.

[0104]Also in this embodiment, the range of the distance d, t, and P in which the effect of this invention appears is as having indicated to Embodiment 1, and the effect described by Embodiment 1 in this range is acquired.

[0105]In the above-mentioned Embodiments 1-4, although the arrangement which forms one semiconductor laser element [two / four / 2/3] (chip) per pitch was explained, the scope of this invention is not necessarily restricted to this, and can also be considered as six pieces, 1/2 piece, and 1/3 etc. arrangement. If it is made for arrangement of some elements on a GaN board to deviate from the necessary range of the above-mentioned t and d, it is also possible to set it as numbers other than the value which can be expressed with an integral multiple or an easy fraction in this way.

[0106]<Embodiment 5> book embodiment 5 changes the nitride semiconductor laser element 1 which has the ridge stripe structure described by Embodiments 1-4 to the nitride semiconductor laser element 2 which has a current blocking layer. The nitride semiconductor laser element 2 of this embodiment which has a current blocking layer is explained with reference to drawing 9.

[0107]The semiconductor laser element 2 of this example, The n type GaN board 200, the n type GaN layer 201 formed one by one on it, the n type  $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  crack prevention layer 203, the n type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  cladding layer 204, the n type GaN light guide layer 205, and the active layer 206, The p type  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  carrier block layers 207, the p type GaN light guide layer 208, the p type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  1st cladding layer 209a, the current blocking layer 220, the p type  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  2nd cladding layer 209b, the p type InGaN contact layer 210, the p electrode 212, and the n electrode 211 — it is \*\* constituted.

[0108]The current blocking layer 220 should just be a layer which prevents current so that the current poured in from the p type electrode 112 can pass only the width between current blocking layers shown in drawing 9. For example, a n type  $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$  layer may be used as the current blocking layer 220. The value of not

only 0.25 but others may be sufficient as the Al composition ratio of the current blocking layer 220. According to this embodiment, the opening of the current blocking layer 220 supports the laser beam waveguide field 14, also in this embodiment, the range of the distance d, t, and P in which the effect of this invention appears is as having indicated to Embodiment 1, and the effect described by Embodiment 1 in this range is acquired.

[0109]It is made for <Embodiment 6> book embodiment 6 to contain one of elements in the active layer of the nitride semiconductor laser element 1 or 2 at least among the element groups of As, P, and Sb. Other

composition is as having already stated.

[0110]A well layer is made to contain one of elements at least among the element groups of As, P, and Sb in this embodiment among the active layers 106 and 206 which constitute the nitride semiconductor luminescence laser devices 1 and 2. When setting to X here composition ratio of total of the above-mentioned element group which a well layer is made to contain and setting composition ratio of N element of a well layer to Y, X is smaller than Y, and  $X/(X+Y)$  is below 0.3 (30%), and is below 0.2 (20%) preferably. The lower limits of total of the above-mentioned element group are  $1 \times 10^{18}$  / more than  $\text{cm}^3$ .

[0111]If the composition ratio X becomes higher than 20%, the concentration separation from which the composition ratio of each element differs for every field in a well layer will begin to arise gradually. If the composition ratio X becomes higher than 30%, shortly, a hexagonal system and cubic system will begin to shift to the intermingled crystal system separation from concentration separation, and the crystallinity of a well layer will begin to fall. On the other hand, if the addition of total of the above-mentioned element group becomes smaller than  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ , the effect by having contained the above-mentioned element in the well layer will become is hard to be acquired.

[0112]by making a well layer contain As, P, or Sb, the effect by this embodiment has an electron of a well layer, and the small effective mass of a hole, and is at the point that the electron of a well layer and the mobility of a hole become large. In the case of a semiconductor laser element, the former means that the carrier population inversion for laser oscillation is acquired in the small amount of current injections, and the latter means that an electron and a hole are newly poured in at high speed by diffusion, even if an electron and a hole disappear by radiative recombination by an active layer. That is, compared with the InGaN system nitride semiconductor laser element which contains neither of the elements, As, P, nor Sb, in an active layer which is reported now, the nitride semiconductor laser element of this embodiment has low threshold current density, and becomes the thing excellent also in the noise characteristic. Also in this embodiment, the range of the distance d, t, and P in which the effect of this invention appears is as having indicated to Embodiment 1.

[0113]When <Embodiment 7> book embodiment 7 forms each nitride semiconductor layer on a substrate, selective growth art is used for it and the others of it are the same as that of either of the above-mentioned embodiments.

[0114]the material (for example, oxides, such as  $\text{SiO}_2$ ...) in which selective growth art controls growth When providing beforehand the mask which consists of nitrides, such as SiN and AlN, and has an opening on the substrate and forming each nitride semiconductor layer on a substrate, it is the art controlled in early stages of growth so that growth in a transverse direction advances. Thereby, the crack which may be produced with growth of each nitride semiconductor layer is prevented effectively. A mask can be provided corresponding to the dislocation-concentrated-regions 11 and high luminescence field 12 top, and can also be concerned and provided in these fields. It is desirable to provide a mask directly under the laser waveguide field 14 at least from the point that the crack which may be generated to a laser waveguide field can be prevented effectively.

[0115]In each above-mentioned Embodiments 1-7, although the example using GaN as a substrate was explained, it can also replace by the nitride semiconductor substrate which comprises material which was indicated to "The means for solving a technical problem." It can replace by nitride semiconductor material which was indicated to "The means for solving a technical problem" also about the material of each nitride semiconductor layer grown up on a nitride semiconductor substrate.

[0116]<Embodiment 8> book embodiment 8 applies the nitride semiconductor laser element of this invention to a semiconductor optical apparatus.

[0117]When the nitride semiconductor laser element (oscillation wavelength of 330-550 nm) of this invention is used for a semiconductor optical apparatus, for example, an optical pickup device, it is preferred in the following points. Each nitride semiconductor laser element is high power (30 mW), and it stabilizes and operates also in a high temperature atmosphere (60 °C). And a laser oscillation life is the best for the optical disk unit for high density recording reproduction with which high reliability is demanded from a long time (record reproduction becomes possible more at high density, so that an oscillation wavelength is short).

[0118]The outline composition of optical disk units, such as the device which has an optical pickup, for example, a DVD device etc., is shown in drawing 10 as an example which used the nitride semiconductor laser element of this invention for the semiconductor optical apparatus. The optical disk unit 300 is provided with the optical pickup 301, the control circuit 302, the motor 303 made to rotate the disk D, and the motor 304 to which the optical pickup 301 is moved. The semiconductor laser element 305, the beam splitter 306, the mirror 307, the object lens 308, and the photodetector 309 are contained in the optical pickup 301. The semiconductor laser elements 305 are the nitride semiconductor laser elements 1 and 2 of one of above-mentioned embodiments.

[0119]When recording information, the control circuit 302 becomes irregular according to input, it converges on

the recording surface of the disk D through the beam splitter 306, the mirror 307, and the object lens 308, and laser beam L which the semiconductor laser element 305 emits records information on the disk D. While the semiconductor laser element 305 has emitted laser beam L unbecome irregular, information is recordable also by modulating the magnetic field of the part which laser beam L converges among the recording surfaces of the disk D according to input. When playing information, laser beam L which received change optically according to the pit arrangement on the disk D enters into the photodetector 309 through the object lens 308, the mirror 307, and the beam splitter 306, and is made into a regenerative signal by the photodetector 309. The power of laser beam L which the semiconductor laser element 305 outputs is about 5 mW at the time of 30 mW and reproduction at the time of record, for example.

[0120] Besides such an optical disk unit that has an optical pickup device, the semiconductor laser element of this invention is available to the projector by the laser beam printer, the bar code reader, and the three-primary-colors (blue, green, red) laser of light, etc., and suitable for them as a light source of a high lifetime by high power, for example.

[0121]

[Effect of the invention] In this invention which shifted not less than 40 micrometers of laser beam waveguide fields of the nitride semiconductor layer from the dislocation concentrated regions of a nitride semiconductor substrate, the influence of a rearrangement of the substrate to a laser beam waveguide field is suppressed, and a nitride semiconductor laser element with a long laser oscillation life is obtained.

[0122] By this invention shifted not less than 30 micrometers from the low dislocation field center region or high luminescence field of a nitride semiconductor substrate, the laser beam waveguide field of a nitride semiconductor layer. A laser beam waveguide field can be located among substrates on the part where character is constant, and a nitride semiconductor laser element with a long laser oscillation life is obtained too.

---

[Translation done.]

#### \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

#### DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing of longitudinal section showing the structure of the semiconductor laser element of Embodiment 1 typically.

[Drawing 2] The enlarged vertical longitudinal sectional view (a), the perspective view (b), drawing of longitudinal section (c), and the top view (d) showing typically the manufacturing process of the nitride semiconductor substrate in this invention.

[Drawing 3] Drawing of longitudinal section showing the lamination of the semiconductor laser element of Embodiment 1 typically.

[Drawing 4] The figure showing the relation of the distance of a laser beam waveguide field and dislocation concentrated regions and the laser oscillation life in a nitride semiconductor laser element.

[Drawing 5] The figure showing the relation of the distance of a laser beam waveguide field and a high luminescence field and the laser oscillation life in a nitride semiconductor laser element.

[Drawing 6] The top view showing typically the manufacturing method of the semiconductor laser element of Embodiment 2.

[Drawing 7] The top view showing typically the manufacturing method of the semiconductor laser element of Embodiment 3.

[Drawing 8] The top view showing typically the manufacturing method of the semiconductor laser element of Embodiment 4.

[Drawing 9] Drawing of longitudinal section showing typically other lamination of the semiconductor laser element



of Embodiments 1-4.

[Drawing 10] The block diagram showing the outline composition of the semiconductor optical apparatus of Embodiment 8.

[Description of Notations]

1, 2 nitride semiconductor laser elements

10 N type GaN board

11 Dislocation concentrated regions

12 Low dislocation field center region (high luminescence field)

13 Nitride semiconductor layer

14 Laser beam waveguide field

15 p electrode

16 n electrode

21 Support base

22 N type GaN layer

23 [11-22] side

24 Concavo-convex pars-basilaris-ossis-occipitalis lower part

25 A concavo-convex apex part

26 {0001} sides

60 N type GaN board

61, 62 nitride-semiconductor-laser-element formation area

70 N type GaN board

71 - 74 nitride-semiconductor-laser-element formation area

80 N type GaN board

81 Nitride semiconductor laser element formation area

102 N type GaN layer

103 N type InGaN crack prevention layer

104 N type AlGaIn clad layer

105 N type GaN light guide layer

106 InGaIn active layer

107 P type AlGaIn carrier block layers

108 P type GaN light guide layer

109 P type AlGaIn clad layer

110 P type GaN contact layer

111 n electrode

112 p electrode

113 Insulator layer

200 N type GaN board

201 N type GaN layer

203 N type InGaIn crack prevention layer

204 N type AlGaIn clad layer

205 N type GaN light guide layer

206 Active layer

207 P type AlGaIn carrier block layers

208 P type GaN light guide layer

209a The 1st cladding layer of p type AlGaIn

209b The 2nd cladding layer of p type AlGaIn

210 P type InGaIn contact layer

211 n electrode

212 p electrode

220 Current blocking layer

300 Optical disk unit

301 Optical pickup

302 Control circuit

303 and 304 Motor

305 Nitride semiconductor laser element

306 Beam splitter

307 Mirror

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

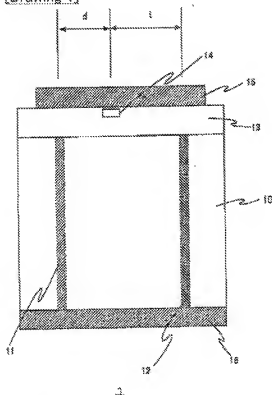
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

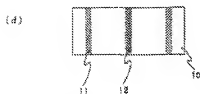
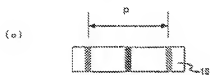
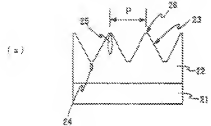
DRAWINGS

---

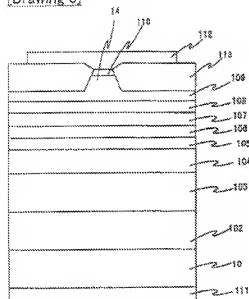
[Drawing 1]



[Drawing 2]

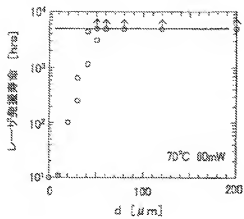


[Drawing 3]

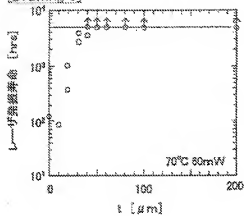


1.

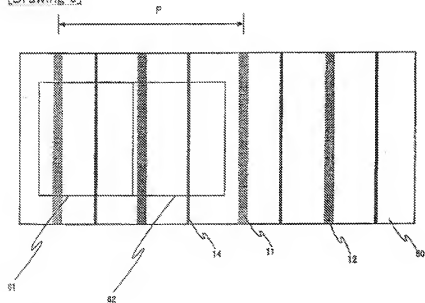
[Drawing 4]



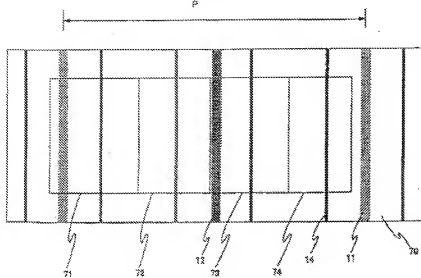
[Drawing 5]



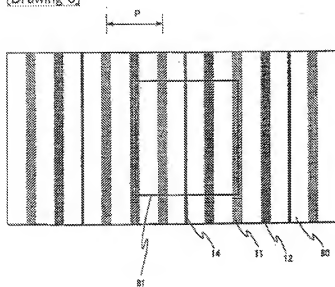
[Drawing 6]



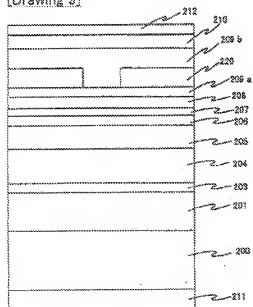
[Drawing 7]



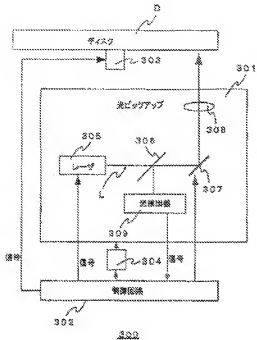
[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Drawing 10]



[Translation done.]

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	ページコード (参考)
H01S 5/343	610	H01S 5/343	610 5 F 0 7 3
5/223		5/223	
5/24		5/24	

審査請求 未請求 請求項の数19 □ L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-330181 (P2001-330181)

(22) 出願日 平成13年10月29日 (2001.10.29)

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(71) 出願人 000002190

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番43号

(72) 発明者 伊藤 茂裕

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

シャープ株式会社内

(74) 代理人 100085561

弁護士 佐野 静夫

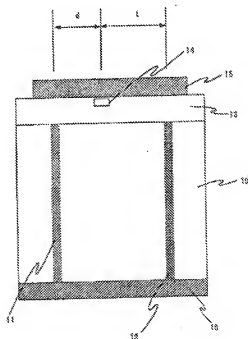
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子、その製造方法および半導体光学装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザ発振寿命の長い窒化物半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 本発明の半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板とその上に積層された窒化物半導体層より成る。基板はストライプ状の転位集中領域と転位集中領域を除いた領域である低転位領域を有し、窒化物半導体層はストライプ状のレーザ光導波領域を有する。レーザ光導波領域は低転位領域上に設けられており、転位集中領域と略平行である。レーザ光導波領域と最近接の転位集中領域との水平方向の距離は40 μm以上である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離  $d$  が  $40\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離  $d$  が  $40\ \mu\text{m}$  以上であり、

隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離  $l$  が  $30\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、

低転位領域がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

転位集中領域と高ルミネッセンス領域が略平行であり、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離  $d$  が  $40\ \mu\text{m}$  以上であり、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離  $l$  が  $30\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】 距離  $d$  が  $60\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項5】 窒化物半導体基板が転位集中領域を複数

有し、

隣り合う転位集中領域間の距離  $P$  が  $140\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項6】 距離  $P$  が  $300\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項5に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項7】 転位集中領域が窒化物半導体基板の  $[1-100]$  方向に略平行であることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の窒化物半導体

レーザ素子。

【請求項8】 窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子であって、

窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネッセンス領域を有し、

窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、

レーザ光導波領域が高ルミネッセンス領域と略平行であり、

レーザ光導波領域と最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離  $l$  が  $30\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子。

【請求項9】 距離  $l$  が  $50\ \mu\text{m}$  以上であることを特徴とする請求項2、請求項3、請求項8、または請求項2もしくは請求項3を引用する請求項4ないし請求項7のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項10】 高ルミネッセンス領域が窒化物半導体基板の  $[1-100]$  方向に略平行であることを特徴とする請求項8に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項11】 請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子を光源として備えることを特徴とする半導体光学装置。

【請求項12】 互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、

レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離  $d$  を  $40\ \mu\text{m}$  以上とすることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項13】 隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離  $l$  を  $30\ \mu\text{m}$  以上とすることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項14】 低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物



半導体基板を用い、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 $t$ を $30\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項12に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項15】 距離 $d$ を $60\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項12ないし請求項14のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項16】 隣り合う転位集中領域間の距離 $P$ が $4.0\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求項12ないし請求項15のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項17】 距離 $P$ が $300\mu\text{m}$ 以上の窒化物半導体基板を用いることを特徴とする請求項16に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項18】 互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、

レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離 $t$ を $30\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項19】 距離 $t$ を $50\mu\text{m}$ 以上とすることを特徴とする請求項13、請求項14、請求項18、または請求項13もしくは請求項14を引用する請求項15ないし請求項17のいずれか1項に記載の窒化物半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物半導体レーザ素子、その製造方法および窒化物半導体レーザ素子を光源として備える半導体光学装置に関し、特に、窒化物半導体を基板として用いる窒化物半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 $\text{GaN}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{InN}$ およびそれらの合金に代表される窒化物半導体材料により、紫外から可視領域で発振する半導体レーザ素子が試作されている。ジャバニエズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス9巻号LB47〜LB50頁(Jpn. J. Appl. Phys., vol.39(2000) pp.1647-650)で報告された半導体レーザ素子もこの一例であり、 $\text{GaN}$ 基板上に周期的なストライプ状の開口部をもつ $\text{SiO}_2$ マスクパターンを形成し、この上に、ストライプ状導波路(リジストライプ構造)を有する窒化物半導体の積層構造を形成し、前記 $\text{GaN}$ 層上に窒化物半導体レーザ素子を形成することが示されている。基板の製造には、次の方法を用いること

が報告されている。

【0003】周期的なストライプ状の開口部をもつ $\text{SiO}_2$ マスクパターン(周期 $20\mu\text{m}$ )を形成した下地 $\text{GaN}$ 上に、MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition)により、 $15\mu\text{m}$ 厚の $\text{GaN}$ 層を形成して、表面が平坦なウェハを得る。これは、ELOG(Epitaxially Lateral Overgrowth)と呼ばれる技術であり、ラテラル成長の利用により、欠陥を低減する手法である。さらに、通常のHVP法(Hydride Vapor Phase Epitaxy)により $200\mu\text{m}$ 厚の $\text{GaN}$ 層を形成し、下地を除去することで $\text{GaN}$ 基板を製造する。こうして得られた半導体レーザの寿命特性は、 $80^\circ\text{C}$ において $30\text{mW}$ で、推定寿命 $15000$ 時間であった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記報告に記載の半導体レーザ素子では、基板の製造方法が、3回の結晶成長(下地成長、MOCVD成長、HVP成長)を必要としており、複雑で、生産性に問題があった。また、レーザ発振寿命もまだ十分でなく、さらに高温で高出力(例えば、 $70^\circ\text{C}$ 、 $80\text{mW}$ )の条件での寿命が十分でなかった。

【0005】本発明はこのような点に鑑みてなされたもので、レーザ発振寿命の一層優れた半導体レーザ素子およびその簡便な製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本明細書で説明する窒化物半導体基板とは、少なくとも $\text{Al}$ 、 $\text{Ga}$ 、 $\text{In}$ 、 $\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ,  $x+y+z=1$ )で構成された基板である。さらに、窒化物半導体基板は、その構成成分である元素素子の約 $20\%$ 以下が、 $\text{As}$ 、 $\text{P}$ および $\text{Sb}$ の元素群のうち少なくともいずれかの元素で置換されても構わない。

【0007】窒化物半導体基板として、最も好ましくは、二元結晶となる $\text{GaN}$ 基板である。二元結晶とすることで、組成が一定となり、基板として安定した特性のものが得られやすくなるとともに、その上にエピタキシャル成長を行う際にも、組成の変化が無くする。また、 $\text{GaN}$ とすることで、良好な導電性が得られるようになる。次いで、 $\text{AlGaIn}$ 基板である。 $\text{AlGaIn}$ 基板のように、屈折率が $\text{GaN}$ よりも小さい材料を基板として用いることで、紫外〜可視領域の半導体レーザを上記材料系で構成する場合、レーザ光の活性層への光閉じ込めが良好になる。

【0008】また、窒化物半導体基板は、 $n$ 型もしくは $p$ 型のドーパント等の不純物が添加されていても構わない。不純物としては、 $\text{Cl}$ 、 $\text{O}$ 、 $\text{S}$ 、 $\text{Se}$ 、 $\text{Te}$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Mg}$ および $\text{Be}$ 等を用いることができる。その不純物の総添加量は $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 以下が好ましい。窒化物半導体基板が $n$ 型導電性を有するための不純物は、前記不純物

群のうち、Si、Ge、O、Se、Clのいずれかが特に好ましい。

【0009】本明細書で説明する窒化物半導体基板に積層された窒化物半導体層とは、少なくともAl、Ga、In、N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ,  $x+y+z=1$ ) で構成された層である。窒化物半導体層は、その構成成分である窒素元素の約20%以下が、As、PおよびSbの元素群のうち少なくともいずれかの元素で置換されても構わない。

【0010】また、窒化物半導体層は、n型もしくはp型のドーパント等の不純物が添加されていても構わない。不純物としては、Cl、O、S、Se、Te、C、Si、Ge、Zn、Cd、MgおよびBe等を用いることができる。その不純物の総濃度は  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上  $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  以下が好ましい。窒化物半導体層がn型導電性を有するための不純物は、前記不純物群のうち、Si、Ge、S、Se、Teのいずれかが特に好ましく、p型導電性を有するための不純物はMg、Cd、Beのいずれかが特に好ましい。

【0011】本明細書で説明する活性層とは、井戸層もしくは井戸層と障壁層から構成された層の総称を指すものとする。例えば、単一量子井戸構造の活性層は、1つの井戸層のみから構成されるか、あるいは、障壁層/井戸層/障壁層から構成される。また、多重量子井戸構造の活性層は複数の井戸層と複数の障壁層から構成される。

【0012】なお、結晶の面や方位を示す指数が負の場合、絶対値の上に横線を付して表記するのが結晶学の慣習であるが、本明細書では、そのような表記ができないため、絶対値の前に符号「-」を付して負の指数を表す。

【0013】前記目的を達成するために、本発明では、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが  $40 \mu\text{m}$  以上である構成とする。窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の転位集中領域から  $40 \mu\text{m}$  以上ずらして低転位領域上に位置させることで、レーザ光導波領域への基板の転位の影響を抑えられ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子となる。

【0014】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板が、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、窒化物半導体層が

ストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが  $40 \mu\text{m}$  以上であり、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とするとき、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離dが  $30 \mu\text{m}$  以上である構成とする。窒化物半導体基板に転位集中領域が複数存在するときは、低転位領域の中央部に周囲とは少し性質の異なる領域が生じることがある。この低転位領域中央領域からレーザ光導波領域を  $30 \mu\text{m}$  以上ずらすことで、一層レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子となる。

【0015】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有し、低転位領域がストライプ状の高ルミネセンス領域を有し、転位集中領域と高ルミネセンス領域が略平行であり、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が低転位領域上に位置して転位集中領域と略平行であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離dが  $40 \mu\text{m}$  以上であり、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネセンス領域との水平方向の距離dが  $30 \mu\text{m}$  以上である構成とする。高ルミネセンス領域は周囲とは少し性質の異なる領域であり、この領域からレーザ光導波領域を  $30 \mu\text{m}$  以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

【0016】窒化物半導体基板における隣り合う転位集中領域間の距離Pは  $140 \mu\text{m}$  以上であることが望ましい。製造に際し、レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすのを容易にするためである。

【0017】また、この距離Pは  $1000 \mu\text{m}$  以下であることが望ましい。低転位領域のうちのレーザ光導波領域の下方に位置しない不必要な部分が過大になるのを避けるためである。

【0018】窒化物半導体基板としては、その[1110]方向に転位集中領域が略平行なものを用いることができる。

【0019】本発明ではまた、窒化物半導体基板と、その上に積層された窒化物半導体層を備える窒化物半導体レーザ素子は、窒化物半導体基板がストライプ状の高ルミネセンス領域を有し、窒化物半導体層がストライプ状のレーザ光導波領域を有し、レーザ光導波領域が高ルミネセンス領域と略平行であり、レーザ光導波領域と最近接の高ルミネセンス領域との水平方向の距離dが  $30 \mu\text{m}$  以上である構成とする。周囲とは少し性質の異なる高ルミネセンス領域からレーザ光導波領域を  $30 \mu\text{m}$  以上ずらすことで、長寿命の半導体レーザ素子となる。

【0020】窒化物半導体基板としては、その[1-100]方向に高ルミネッセンス領域が略平行なものを用いることができる。

【0021】窒化物半導体層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとすることができる。

【0022】また、窒化物半導体層は、As、PおよびSbのうち少なくともいずれかの元素を含む窒化物半導体から構成される井戸層を含有する量子井戸活性層を有するものとすることもできる。

【0023】本発明では、半導体光学装置に上記の窒化物半導体レーザ素子を光源として備えるようにする。

【0024】本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の転位集中領域と、転位集中領域を除いた領域である低転位領域とを有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を低転位領域上に転位集中領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の転位集中領域との水平方向の距離  $d$  を  $4.0 \mu\text{m}$  以上とするようにする。このようにすると、レーザ光導波領域への基板の転位の影響を抑えることができ、レーザ発振寿命の長い半導体レーザ素子を得られる。

【0025】ここで、隣り合う転位集中領域間の中央線部分を低転位領域中央領域とすると、レーザ光導波領域とこれに最近接の低転位領域中央領域との水平方向の距離  $l$  を  $3.0 \mu\text{m}$  以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる可能性のある低転位領域中央領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0026】低転位領域中に転位集中領域と略平行なストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板を用いるときは、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離  $l$  を  $3.0 \mu\text{m}$  以上とするようにしてもよい。周囲とは少し性質の異なる高ルミネッセンス領域からレーザ光導波領域をずらすことで、一層長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0027】隣り合う転位集中領域間の距離  $P$  が  $14.0 \mu\text{m}$  以上の窒化物半導体基板を用いるとよい。レーザ光導波領域を転位集中領域からずらすことが容易になる。

【0028】また、この距離  $P$  が  $100.0 \mu\text{m}$  以下の窒化物半導体基板を用いるとよい。低転位領域のうちレーザ光導波領域の下方に位置しない必要部分の大きい半導体レーザ素子となるものを選べることができ、また、歩留まりも向上する。

【0029】本発明ではまた、互いに略平行な複数のストライプ状の高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板上に、ストライプ状のレーザ光導波領域を備えた

窒化物半導体の積層構造を含有する窒化物半導体層を形成する工程を含む窒化物半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ光導波領域を高ルミネッセンス領域と略平行に設けるとともに、レーザ光導波領域とこれに最近接の高ルミネッセンス領域との水平方向の距離  $l$  を  $3.0 \mu\text{m}$  以上とするようにする。この場合も、長寿命の半導体レーザ素子を得ることができる。

【0030】転位集中領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面[11-22]面が表出している凹凸形状となっている表面を有し、転位集中領域が表面の凹凸形状の底部の下方に位置するものを用いることができる。

【0031】また、高ルミネッセンス領域を有する窒化物半導体基板としては、ファセット面[11-22]面が表出している凹凸形状となっている表面を有し、高ルミネッセンス領域が表面の凹凸形状の頂上部の下方に位置するものを用いることができる。

【0032】  
【発明の実施の形態】<実施の形態1>図1は本発明の実施の形態1の半導体レーザ素子1を示す断面模式図である。図1は、本実施の形態の半導体レーザ素子1を、先出射方向から見た図である。図1において、10はn型GaIn基板であり、基板10中には、転位集中領域11が存在し、転位集中領域11以外の部分は低転位領域となっている。また、低転位領域中には、さらに転位集中領域11に平行して高ルミネッセンス領域12が存在する。基板10上には、窒化物半導体層(エピタキシャル成長層)13が形成されている。窒化物半導体層13中には、レーザ光導波領域14が位置している。また、窒化物半導体層13上面および基板10下面には、電極15、16がそれぞれ形成されている。図1の断面図には現れていないが、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12およびレーザ光導波領域14は、図1の発行方向に延伸しており、互いに略平行の配置となっている。

【0033】本実施の形態の半導体レーザ素子1を上側側から見たとき(平面図)、レーザ光導波領域14と転位集中領域11との距離を  $d$ 、レーザ光導波領域14と高ルミネッセンス領域12との距離を  $t$  としたとき、 $d = 8.0 \mu\text{m}$ 、 $t = 12.0 \mu\text{m}$  とした。なお、本明細書において、距離  $d$  および  $t$  は各ストライプ状のレーザ光導波領域、転位集中領域、高ルミネッセンス領域の中心位置間の距離から規定されるものとする。

【0034】以下に、本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法について解説しつつ、さらに詳しくその構造についても説明する。

【0035】(GaIn基板の作製方法) まず、n型GaIn基板10の結晶成長方法の概略を述べる。GaInの結晶は、ファセット面からなる斜面が表出するようにして、その斜面を維持しながら成長させる。つまり、斜面

を成長方向に次第に移動させていく。これにより、斜面の途中に発生する転位が斜面の下端に位置して集まり、斜面の下端であった部位が転位集中領域、斜面の途中であった部位が低転位領域となる。

【0038】転位集中領域にはいくつかの状態がある。例えば多結晶となることがある。また、周囲の低転位領域に対して僅かに傾斜した単結晶となることがある。さらに、周囲の低転位領域の成長方向が【001】方向であるのに対して、成長方向が逆に【000-1】方向となることもある。このため、転位集中領域と低転位領域の間に明確な境界が生じる。

【0037】斜面を成長方向に移動させるため、ファセット面を最初にとのような形状で発生させるかにより、転位集中領域の形状を規定することができる。上下を逆にした（頂点が下で底面が上の）角錐の側面のようなファセット面を最初に発生させておけば、転位はその角錐の頂部の部位に集まり、転位集中領域は成長方向に平行な直線状となってピットを形成する。また、断面がV字状の溝の側面のようなファセット面を最初に発生させておけば、転位はその溝の底の直線状の部位に集まり、転位集中領域は成長方向に平行な面状となってストライプを形成する。

【0038】最初に生じさせるファセット面の種としては、結晶成長を妨げるマスクを利用することができる。マスクを覆っていない部位で結晶成長が始まって、マスクのない部位とある部位との境界にファセット面が生じ、水平方向への成長によってマスク上でファセット面が接し合い、その接点で転位集中領域の開始位置となる。ファセット面が接し合った後は、垂直方向（本来の成長方向）への結晶成長が安定して進み、ファセット面はそのまま成長方向に移動し、転位集中領域は成長方向に伸びていく。結晶成長を妨げるマスクをドット状とすれば、上下が逆の角錐の側面のようなファセット面を発生させることができ、マスクを直線状とすれば、断面がV字状の溝の側面のようなファセット面を発生させることができる。マスクとしては非結晶または多結晶の膜を設ければよく、例えばSiO<sub>2</sub>の薄膜を基体表面に形成しておく。

【0039】結晶成長後、その表面を研磨して鏡面化することで、半導体層を研磨しうる基板が得られる。本実施例の形態では、V字状にファセット面を生じさせて、転位集中領域がストライプ状となるようにするが、あるいは、ドットを取り巻く形状のファセット面を短い周期で多数生じさせて、転位集中領域が巨視的にストライプ状となるようにする。

【0040】n型Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>N基板10の具体的な製造方法を、図2を参照して説明する。支持基板21上に、HVPE法により、n型Ga<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>N層22を、ファセット面【11-22】面23が成長中の表面に主として露出するよう

に凹凸形状となる。ただし、凸部の頂点付近には、わずかに、【0001】面26が露出した部分がストライプ状に見られた。図2(a)は、この状態を説明した断面図（一部のみの表示）である。

【0041】ここで、HVPE法というのは、ホットウォール型の反応炉の上流部にGaポートを設けて加熱したGa融液にHClガスを吹き込むようにし、反応炉の下流部に基体を設けてNH<sub>3</sub>を吹き込むようにしておき、加熱したGaメタル（融液）にHClを吹き込んでGaClを合成し、下方へ送り、下方でNH<sub>3</sub>と反応させGa<sub>0.5</sub>Nを合成して、Ga<sub>0.5</sub>Nが基体に堆積するようにしたものである。

【0042】支持基板21としては2インチ（111）GaAsウェハを用いた。基板21の材料に特に制約はなく、一般的なサファイアを用いることも可能であるが、後に切除するため、このようにGaAsを材料として用いて無駄を抑えるのが好ましい。

【0043】上記凹凸はピッチP=400μmの周期構造であり、図面奥行き方向に欹状に延びている形状となっている。このように、凹凸の位置を規定するためには、基板21上にあらかじめ上記凹部に対応したSiO<sub>2</sub>等のマスクを形成しておき、これを種としてファセットが露出する状態で、結晶成長を行えば良い。つまりマスクは、Ga<sub>0.5</sub>N結晶の【11-100】方向に平行になるように、ピッチP=400μmでストライプ状に配置されており、その形状は、連続したストライプ状、あるいは略一定間隔で直線上に位置する多数のドット状である。

【0044】ファセット【11-22】面が露出した状態で、結晶成長を継続させる手法（成長条件）については、本出願人が先に公開した特開平11-273882号に詳細に開示している。なお、成長時にOを下ーピングすることで、成長する結晶をn型とした。

【0045】このような成長モードを保ったまま、さらにGa<sub>0.5</sub>N結晶の形成を続けることで、基板21上に高さ30mmのインゴットを製作した。図2(b)は、インゴットを示した図である。

【0046】このインゴットを、スライサーによりスライス切断加工して薄片（n型Ga<sub>0.5</sub>N基板）を得た。薄片を研磨加工して、表面が平坦な2インチ（約5cm）後、厚さ350μmのn型Ga<sub>0.5</sub>N基板10を得た。エピタキシャル成長を行うための表面は鏡面研磨仕上げとした。なお、この表面は、ほぼ【0001】面としたが、上にエピタキシャル成長される窒化物半導体層13のモフォロジーが平坦で良好になるためには、【0001】面から任意の方向に0.2〜1°の範囲の、比較的小さいオフ角度を有していることが望ましく、特に表面の平坦性が最小になるようにするためには、0.4〜0.8°の範囲とすることが好ましかった。図2(c)は、こうして得られたn型Ga<sub>0.5</sub>N基板10の断面図（一部のみの

表示)であり、図2(d)は、上面図(一部のみ表示)である。

【0047】として得られたGa<sub>0.5</sub>N基板10の評価を次のように行った。まず、n型Ga<sub>0.5</sub>N基板10の表面を顕微鏡で詳細に観察した。研磨加工された表面は必ずしも平坦でなく、結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域(図2(a)において符号24で示した部分)に対応する領域がやや窪んでいた。

【0048】さらに、硫酸、硝酸の混酸を250℃に加熱した液にサンプルを浸してエッチングを行い、エッチビットが表面に出るようにした。その結果、結晶成長時に凹部の最底部が生じていた領域(図2(a)において符号24で示した部分)に対応する領域で、多数のエッチビットが現れ、この領域は転位(あるいは結晶欠陥)が極めて集中している領域(転位集中領域)であることが判明した。つまり、上記窪みは、この領域に対応していた。

【0049】このように窪みの部分は、転位が極めて集中しているために、研磨工程で他の部分よりも侵食されやすく、そのため生じてしまったものと考えられる。転位集中領域の幅は約10~40μmであった。それ以外の領域は、EPD(エッチビット密度)10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>/cm<sup>2</sup>の低転位領域となっていた。転位集中領域のEPDは、これよりも3倍以上大きいように観察された。このように、符号11で表されるような領域は、周囲に比べて数倍も転位密度が大きくなっている部分であるため、本明細書では、「転位集中領域」と呼称した。

【0050】また、サンプルに紫外線(Hgランプ365nm輝線を用いることができる)を照射して、表面からのルミネッセンスを顕微鏡を用いて観察した(蛍光顕微鏡観察)。その結果、転位集中領域11に挟まれた低転位領域の中央に、比較的にはっきりと境界をもった、周囲とコントラストが異なるストライプ状の領域が観察された。この領域は、周囲よりも肉厚で観察される発光(ルミネッセンス)が強く、やや黄色がかって明るく観察される領域である。

【0051】この領域は、結晶成長時にファセット面【0001】面が露出しつつ成長していた部分25であり、図1および図2(d)に符号12で表される領域である。このように周囲と異なって観察されるのは、ドーパントの取り込まれ具合が周囲と異なるなどの理由が考えられる。上述の事実から、本明細書では、この領域を「高ルミネッセンス領域」と呼称した。結晶成長時に、ファセット面【0001】面が露出しつつ成長していた部分25が必ずしも同一の幅をもって均一に進行するものではないために、高ルミネッセンス領域12の幅は、ややゆがみを持っているものの、広いところで、30μm程度であった。

【0052】なお、このような高ルミネッセンス領域は、上記インゴットを作成するときの条件や、インゴ

ットにおける位置(支持基材からの距離)によっては、ほとんど形成されないこともある。しかしながら、転位集中領域11にはさまれた部分のはほぼ中央の領域は、上記凹部の頂点付近の領域に対応している部分であり、これを、本明細書では、「低転位領域中央領域」とも呼称する。本明細書において、高ルミネッセンス領域として説明する部分は、低転位領域中央領域に置き換えて考えることができる。

【0053】なお、上記Ga<sub>0.5</sub>N基板10の形成のための結晶成長は、HVPE法以外の気相成長法によってもよく、MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition)、MOC法(Metalorganic Chloride Vapor Phase Epitaxy)、昇華法などを用いても実施することができる。

【0054】Ga<sub>0.5</sub>N基板10の形成のための成長に用いる基体21としては、GaAsの他にも、輪廻りに六面対称性あるいは三面对称性がある結晶基板を用いることができる。つまり結晶系としては六方晶系である立方晶系である結晶が挙げられる。立方晶系の場合(111)面を使えば三面对称性がある。サファイア、SiC、石英、NdGaO<sub>3</sub>、ZnO、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlNなどの六方晶系の結晶を用いることができる。Si、スピネル、MgO、GaPなどの立方晶系の(111)面基板を用いることもできる。これらはGa<sub>0.5</sub>NをC面で成長させるものである。

【0055】Ga<sub>0.5</sub>N基板10の形成のためのマスクの設け方にも2種類の選択肢がある。一つは基体の上に直接にマスクを形成する手法である。この場合、エビ層に先立ちマスク開口部の内部の基体露出面にGa<sub>0.5</sub>Nバッファ層を堆積する等の工夫を行ったほうがよい。もう一つは基体の上に予め比較的薄くGa<sub>0.5</sub>N層を形成しておいて、その上にマスクを形成する手法である。後者の方が成長がスムーズに進行し、より好ましい場合が多い。

【0056】また、ここでは基板10としてGa<sub>0.5</sub>Nを用いた例を説明したが、「課題を解決するための手段」の欄に記載したような材料で構成される窒化物半導体基板に置換してもよい。

【0057】従来の技術に示した窒化物半導体基板の製造方法では、基板結晶の成長を進行させるに従って、横方向成長技術(ELOG技術)を用いることで、転位を低減しているが、転位(欠陥)が生じる位置は特に制御されず、結晶成長が進むに従って、転位は面内に一様に分布するようになる。一方、本発明で用いる窒化物半導体基板では、転位集中領域の位置が、基板結晶の成長を通じて、所定の位置(ピッチが数100nmオーダーである)に制御される。従来技術のGa<sub>0.5</sub>N基板と、本発明で用いる窒化物半導体基板は、このような違いがある。

【0058】そのため、同程度の転位密度の基板を得ようとする場合、本実施の形態で説明する電着結晶の製造方法の方が、結晶成長回数が少なくて済む。生産性が良

好になる。このような基板を用いた場合に、半導体レーザ素子におけるレーザ光増強領域がどのような位置に設けられれば適当であるかについては、従来知られていなかった。この点については、後に詳細に説明する。

【0059】(窒化物半導体層のエピタキシャル成長)次に、 $n$ 型 $\text{GaIn}$ 基板10上に窒化物半導体層13等を形成して半導体レーザ素子1を作製する方法について、図3を参照して解説する。図3は、図1の半導体レーザ素子1を、窒化物半導体層13の層構造を詳細に示すように表した模式図であり、基板10中の上記構造については記載を省略した。

【0060】MOCVD装置を用いて、V族原料の $\text{NH}_3$ とIII族原料の $\text{TMGa}$ (トリメチルガリウム)または $\text{TEGa}$ (トリエチルガリウム)C、ドーパント原料としての $\text{SiH}_4$ を加え、 $n$ 型 $\text{GaIn}$ 基板10に、基板温度1050℃で、膜厚3μmの $n$ 型 $\text{GaIn}$ 層102を形成した。次いで、800℃の基板温度で、上記原料にIII族原料としての $\text{TMIIn}$ (トリメチルインジウム)を加え、 $n$ 型 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラック防止層103を40nm成長させた。次に、基板温度を1050℃Kに上げ、 $\text{TMAI}$ (トリメチルアルミニウム)または $\text{TEAl}$ (トリエチルアルミニウム)のIII族原料も用いて、1.2μm厚の $n$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラック層104を成長させた。 $n$ 型不純物として $\text{Si}$ を $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 添加した。続いて、 $n$ 型 $\text{GaIn}$ 光ガイド層105( $\text{Si}$ 不純物濃度 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )を0.1μm成長させた。

【0061】その後、基板温度を750℃に下げ、3周期の、厚さ4nmの $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 井戸層と厚さ8nmの $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 障壁層から成る活性層(多量重子井戸構造)106を、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順序で成長させた。その際、障壁層または障壁層と井戸層の両方に $\text{SiH}_4$ ( $\text{Si}$ 不純物濃度は $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ )を添加した。障壁層と井戸層、または井戸層と障壁層との間に、1秒以上180秒以内の成長中断を実施すると、各層の平坦性が向上し、発光半値幅が減少して好ましい。

【0062】活性層にAsを添加する場合は $\text{AsH}_3$ (アールセン)または $\text{TBA}_3$ (ターシャリブチルアルシン)を、活性層にPを添加する場合は $\text{PH}_3$ (ホスフィン)または $\text{TBP}$ (ターシャリブチルホスフィン)を、活性層にSbを添加する場合は $\text{TMSb}$ (トリメチルアンチモン)または $\text{TESb}$ (トリエチルアンチモン)を、それぞれ原料に用いると良い。また、活性層を形成する際、N原料として、 $\text{NH}_3$ 以外に $\text{N}_2\text{H}_4$ (ヒドラジン)、 $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_4$ (ジメチルヒドラジン)あるいはNを含む有機原料を用いても構わない。

【0063】次に、基板温度を再び1050℃まで上昇させて、厚さ20nmの $p$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ キャリアブロック層107、0.1μmの $p$ 型 $\text{GaIn}$ 光ガイド層

108、0.5μmの $p$ 型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラッド層109、および0.1μmの $p$ 型 $\text{GaIn}$ コンタクト層110を順次成長させた。 $p$ 型不純物として原料に $\text{EtCpMg}$ (ビスエチルシクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ で添加した。 $p$ 型 $\text{GaIn}$ コンタクト層110の $p$ 型不純物濃度は、 $p$ 電極112の方向に向かって高くなるようにした方が好ましい。これにより $p$ 電極形成によるコンタクト抵抗が低減する。また、 $p$ 型不純物である $\text{Mg}$ の活性化を妨げている $p$ 型層中の残留水素を除去するために、 $p$ 型層成長中に微量の酸素を混入させてよい。

【0064】このようにして、 $p$ 型 $\text{GaIn}$ コンタクト層110を成長させた後、MOCVD装置のリアクター内を全て窒素キャリアガスと $\text{NH}_3$ に替えて、80℃/分で温度を降下させた。基板温度が800℃になった時点で、 $\text{NH}_3$ の供給を停止し、5分間の基板温度で待機してから、室温まで降下した。ここでの基板の保持温度は650℃から800℃の間が好ましく、待機時間は3分以上10分以下が好ましかった。また、温度の降下速度は、30℃/分以上が好ましい。

【0065】このようにして作製した成長膜をラマン測定によって評価した結果、MOCVD装置からのウェハ一取り出し後の $p$ 型化アニールを実行しなくても、成長後すでに $p$ 型化の特性が示されていた( $\text{Mg}$ が活性化していた)。また、 $p$ 電極形成によるコンタクト抵抗も低下する。上記手法に加えて従来の $p$ 型化アニールを組み合わせると、 $\text{Mg}$ の活性化率がより向上して好ましかった。

【0066】 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラック防止層103は、In組成比が0.07以外であっても構わない。InGaNクラック防止層103自体がなくても構わない。しかしながら、クラッド層104とGaIn基板10との格子上整合が大きくなる場合は、前記InGaNクラック防止層103を挿入した方がクラック防止の点でより好ましい。また、クラックを防止するために、各 $n$ 型層における $n$ 型の不純物として、 $\text{Si}$ に代えて $\text{Ge}$ を用いることも好ましい。

【0067】活性層106は、障壁層で始まり障壁層で終わる構成であるが、井戸層で始まり井戸層で終わる構成であってもよい。また、井戸層の層数は、前述の3層に限らず、10層以下であれば順電流密度が低く、室温連続発光が可能であった。特に2層以上5層以下のとき順電流密度が低く好ましかった。さらに上記で説明した活性層に、Alを含有するようにしてもよい。

【0068】また、ここでは活性層106を成す井戸層と障壁層の両層に $\text{Si}$ を所要量添加したが、不純物を添加しなくても構わない。しかしながら、 $\text{Si}$ のような不純物を活性層に添加した方が発光強度は強かった。このような不純物としては、 $\text{Si}$ 以外に、O、C、Ge、Z

nおよびMgのうちのいずれか、またはこれらの2以上を組み合わせて用いることができる。また、不純物の添加量の総和は、約 $1 \times 10^{17} \sim 8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度が好ましかった。さらに、不純物を添加する層は井戸層と障壁層の両層に限らず、片方の層のみに不純物を添加しても良い。

【0069】p型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nキャリアブロック層107は、この組成以外であっても構わない。Inを添加したAlGaInとすれば、より低温での成長でp型化するので、結晶成長時に活性層108が受けるダメージを低減することができ、好ましい。なお、キャリアブロック層107自体が無くても構わないが、これを設けた方が閾値電流密度が低かった。これは、キャリアブロック層107が活性層108にキャリアを閉じ込める働きがあるからである。キャリアブロック層107のAl組成比は、高くすることによってキャリアの閉じ込めが強くなって好ましい。また、キャリアの閉じ込めが保持する程度までAl組成比を小さくすれば、キャリアブロック層内のキャリア移動度が大きくなり電気抵抗が低くなって好ましい。

【0070】また、ここでは、p型クラッド層109とn型クラッド層104として、Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N結晶を用いたが、Alの組成比が0.1以上のAlGaIn3元結晶であっても構わない。Alの組成比が高くなると活性層108とのエネルギーギャップ差が屈折率差が大きくなり、キャリアや光が活性層に効果的に閉じ込められ、レーザ発振閾値電流密度を低減することができる。また、キャリアおよび光の閉じ込めが保持される程度までAl組成比を小さくすれば、クラッド層でのキャリア移動度が大きくなり、素子の動作電圧を低くすることができる。この点を考慮した動作クラッド層109のAl組成比を0.06～0.09程度にすることも、好ましい。

【0071】n型AlGaInクラッド層104の厚さは、0.7μm～1.5μmが好ましい。これにより、垂直共振モードの単波長と光閉じ込め効率が増し、レーザの光学特性の向上とレーザ閾値電流密度の低減が図れる。

【0072】また、クラッド層104、109は、上記ではAlGaIn3元結晶としたが、AlInGaIn、AlGaInP、AlGaInAs等の4元結晶であっても良い。さらに、p型クラッド層109は、電気抵抗を低減するために、p型AlGaIn層とp型GaIn層からなる超格子構造、p型AlGaIn層とp型AlGaIn層からなる超格子構造、またはp型AlGaIn層とp型InGaIn層からなる超格子構造を有していても良い。

【0073】ここでは、MOCVD装置による結晶成長方法を説明したが、分子線エピタキシー法(MBE)、ハイドライド気相成長法(HVPE)を用いても構わない。

【0074】続いて、窒化物半導体層13の各層がn型GaIn基板10上に形成されたエビウエハーを、MOCVD装置から取り出して、窒化物半導体レーザ素子チップに加工するプロセス工程を説明する。

【0075】(素子化プロセス)レーザ光導波領域14であるリッジストライプ部を、n型GaIn基板10に対して、図1を用いて説明した所望の位置に形成する。これは、エビウエハー表面側より、p型クラッド層109の途中または下端までを、ストライプ状の部分を残してエッチングすることにより行う。ここで、ストライプ幅は1～3μm、好ましくは1.3～2μmとし、また、エッチング底面のp型ガイド層108からの距離は、0～0.1μmとした。その後、リッジストライプ部以外の部分に絶縁膜113を形成した。ここで、絶縁膜113としてはAlGaInを用いた。エッチングされずに残ったp型GaInコンタクト層110は露出しているため、この部分および絶縁膜113上に、p電極112をPd/Mo/Auの順序で堆積して形成した。

【0076】絶縁膜113としては上記以外に珪素、チタン、ジルコニア、タンタル、アルミニウム等の酸化物もしくは窒化物を用いることもでき、また、p電極112の材料として他に、Pd/Pt/Au、Pd/Au、またはNi/Auのいずれかを用いても構わない。

【0077】さらに、エビウエハー表面側(基板側)を研磨することにより、ウエハーの厚さを80～200μmに調整し、後にウエハーの分割を行いたいようにした。n電極111は、基板の裏面にHf/AIの順序で形成した。n電極111の材料として他に、Hf/AI/Mo/Au、Hf/AI/Pt/Au、Hf/AI/W/Au、Hf/Au、Hf/Mo/Auや、これらのうちのHfをTi、Zrに置き換えたものを用いても構わない。

【0078】最後に、エビウエハーを、リッジストライプ方向に対して垂直方向に劈開し、共振器長600μmのフブリ-ペロー共振器を作製した。共振器長は250μmから1000μmが好ましい。この工程により、ウエハーは個々のレーザ素子が横に連なったバー状の形態となった。ストライプが<1-100>方向に沿って形成された窒化物半導体レーザ素子の共振器端面は、窒化物半導体結晶の{1-100}面である。劈開はウエハー全面にスクライバーにより研磨き傷をつけて行うのではなく、ウエハーの一部、例えば、ウエハーの両端にのみ、あるいは、チップ両端に対応する部分にのみスクライバーによって研磨き傷をつけ、これを起点に劈開した。なお、端面で研磨させる手法以外に、内部に回折格子を設けて共振させるDFB(Distributed Feedback)、外部に回折格子を設けて共振させるDBR(Distributed Bragg Reflector)を用いても構わない。

【0079】フブリ-ペロー共振器の共振器端面を形成した後、この端面に約80%の反射率を有するSiO

と $TiO_2$ の誘電体膜を交互に蒸着し、誘電体多層反射膜を形成した。誘電体多層反射膜は他の誘電体材料で形成しても構わない。さらにこの後、バーを個々のレーザ素子に分割すること、図1の半導体レーザ素子1を得た。レーザチップの中央にレーザ光導波領域14（リッジストライプ）を配置し、レーザ素子1の幅幅 $W$ は $400\mu m$ とした。

【0080】もともと $n$ 型GaIn基板10にはピッチ $P=400\mu m$ で駆動集中領域11が配置され、各駆動集中領域の中央部に高ルミネッセンス領域12が配置され、また、図1を用いて説明したように、 $d=80\mu m$ 、 $t=120\mu m$ として、各領域を配置したから、各半導体レーザ素子（チップ）には、1本の駆動集中領域と、1本の高ルミネッセンス領域が含まれた。つまり、本実施の形態では、 $W=P$ であり、 $2(t+d)=P$ である。

【0081】以上のようにして図1および図3に示す窒化物半導体レーザ素子1のチップを作製した。

【0082】（半導体レーザ素子の特性）得られた窒化物半導体レーザ素子1では、最悪位置に電流拡散部分が存在することによって、レーザ出力 $80mW$ 、雰囲気温度 $70^\circ C$ の条件下、レーザ発振寿命 $5000$ 時間以上が達成された。なお、本発明者らが前記の従来技術によって半導体レーザを作製し、同一条件で試験を行ったところ、その寿命は $1000$ 時間程度であった。

【0083】（レーザ光導波領域と基板との位置関係）本実施の形態の窒化物半導体基板10は、上述のごとく、ストライプ状の駆動集中領域、低駆動領域、高ルミネッセンス領域あるいは低駆動領域中央領域のような構造を有していることを特徴とする。あるいは、上述のような製造方法を用いて作製されたことを特徴とする。このような窒化物半導体基板を用いて窒化物半導体レーザ素子を製造する際、窒化物半導体レーザ素子のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板上のどの位置に形成するかによって、レーザ発振寿命が変化することを、本発明者らが見出した。以下に、距離 $d$ および $t$ の好ましい範囲について詳細に検討する。

【0084】図4は、 $P=600\mu m$ の $n$ 型GaIn基板10上に、本実施の形態の半導体レーザ素子1とはほぼ同様に作製し、レーザ光導波領域14の位置を変更したいくつかの半導体レーザ素子のレーザ発振寿命を、レーザ光導波領域14と駆動集中領域11との距離 $d$ に対してプロットしたグラフである。評価した距離 $d$ の最大値は $200\mu m$ である。評価は、レーザ出力 $80mW$ 、雰囲気温度 $70^\circ C$ の条件下で行った。その結果、 $d \geq 40\mu m$ で、実用寿命の $3000$ 時間が達成され、 $d \geq 50\mu m$ で $5000$ 時間以上と十分な特性が得られた。なお、寿命の測定は $5000$ 時間までしか行っており、図4の上向き矢印はレーザ発振寿命が $5000$ 時間以上であることを示したものである。

【0085】 $d \leq 10\mu m$ の場合、レーザ光導波領域14は概ね駆動集中領域11上に位置しているが、この場合、寿命数時間以下と極端に特性が劣化した。距離 $d$ が $20 \sim 30\mu m$ の場合、駆動電流が時間の経過とともに徐々に上昇する現象が見られ、これが $200mA$ 付近に達したときに熱暴走によりレーザ発振が不可能となった。pn接合に逆バイアスを印加してpn接合のリーク電流を評価したところ、このように、駆動電流が徐々に上昇するような素子においては、 $d \geq 80\mu m$ の素子と比較すると明らかにリーク電流が多く、これが経過時間とともに増加していた。

【0086】上記手法で作製されたGaIn基板10の駆動集中領域11の近くに形成された半導体レーザ素子では、レーザ光導波領域14付近のpn接合に駆動電圧が発生しているため、またはこの影響によりpn接合面が平坦でなく乱れているために、このような経過時間の経過とともに増大するリークが発生してしまい、寿命特性が劣化したものと推定された。結果として、少なくとも $d \geq 40\mu m$ 、好ましくは、 $d \geq 80\mu m$ と設定することが必要であると判明した。

【0087】図5は、 $P=600\mu m$ の $n$ 型GaIn基板10上に、本実施の形態の半導体レーザ素子1とはほぼ同様に作製し、レーザ光導波領域14の位置を変更したいくつかの半導体レーザ素子のレーザ発振寿命を、レーザ光導波領域14と高ルミネッセンス領域12との距離 $t$ に対してプロットしたグラフである。評価した距離 $t$ の最大値は $200\mu m$ である。評価は、レーザ出力 $80mW$ 、雰囲気温度 $70^\circ C$ の条件下で行った。その結果、 $t \geq 30\mu m$ で、実用寿命の $3000$ 時間が達成され、 $t \geq 50\mu m$ で $5000$ 時間以上と十分な特性が得られた。なお、図5中の上向き矢印は、図4と同様に、レーザ発振寿命が $5000$ 時間以上であることを表している。

【0088】 $t=0\mu m$ の場合、レーザ光導波領域14は高ルミネッセンス領域12上に位置しているが、この場合、寿命 $1000$ 時間程度に特性が劣化した。レーザ光導波領域14を高ルミネッセンス領域12近傍に配置すると、素子電圧の上昇と、駆動電流値の上昇が見られ、これにより、素子寿命が劣化してしまうものと考えられる。基板10において高ルミネッセンス領域（あるいは低駆動領域中央領域）12およびその近傍には、周囲よりも抵抗の高い領域が存在しており、そのため素子電圧に影響が現れたものと考えられる。素子電圧を詳細に観察すると、 $t \geq 50\mu m$ ではほぼ一定となるが、それより小さい領域では若干上昇してきており、結果として、少なくとも $t \geq 30\mu m$ 、好ましくは、 $t \geq 50\mu m$ と設定することが必要であると判明した。

【0089】（基板の好ましい範囲）次に、GaIn基板10における駆動集中領域11の現れるピッチ $P$ の好ましい範囲について検討した。前述のように、GaIn基板



10の作製においては、ファセット面{11-22}面を露出させながら、表面の断面形状が鋭角状の凹凸形状となるようにすることが重要である。こうすることにより、低転位領域、高ルミネッセンス領域12を発生させることができ、転位集中領域11と高ルミネッセンス領域12の双方から所要距離だけ離れた部分はレーザ導波領域を形成するに好適な領域となる。したがって、上述の効果を得る距離dの最小値40μmと、上述の効果を得る距離tの最小値である30μmとの和70μmの2倍以上を、ピッチPとして取らないと、レーザ導波領域を形成する領域が無くなってしまい、よって、距離Pの範囲は $P \geq 140 \mu m$ に限定される。

【0090】また、距離Pの値は、GaIn基板10の形成において、凹凸形状の位置を一定に保ったまま成長が持続できるか否かの点からも限定される。なぜなら、成長の進行とともに凹凸形状の位置が初期の位置とずれてきてしまうと、ピッチPが一定しくなり、得られたGaIn基板10に対して所定の位置にレーザ導波領域を設定することが困難になるためである。この点からPの範囲について検討すると、 $P < 50 \mu m$ 程度では、このよう

な状態を保つことができず、 $P \geq 100 \mu m$ とすることが望ましいことがわかった。  
【0091】さらに、転位を転位集中領域11に集中させる機能からすると、ファセット面{11-22}面を大きく発生させたほうが良く、 $P \geq 30 \mu m$ とすると、上述のように転位集中領域11と低転位領域での欠陥密度が3倍以上異なるようになって好ましかった。距離Pの上限に関しては、これらの要請からは規定されないが、あまり大きくすると、得られるインゴット表面の凹凸が大きくなり、得られるウェハーの取れ数が小さくなってしまふから、100μm程度が適当である。結論として、140≤Pが必要であり、好ましくは、300≤Pであれば良く、あえて上限を規定するならば $P \leq 1000$ が好ましい。

【0092】<実施の形態2>本実施の形態2の半導体レーザ素子は実施の形態1の半導体レーザ素子1と同様であるが、距離P、d、tの値等が異なるものである。図6は本実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型GaIn基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す図であり、n型GaIn基板60のうち個々の半導体レーザ素子(チップ)とする領域を符号61、62で表している。なお、本実施の形態2および後述する実施の形態3、4においては、レーザ光導波領域14、転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の位置関係が実施の形態1と異なるが、各実施の形態においても実施の形態1と同様に符号1で半導体レーザ素子を示す。

【0093】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、n型GaIn基板60の転位集中領域11のピッチPは500μmであり、1ピッチに2本のレ

ーザ光導波領域14を配置して、ピッチあたり2個の半導体レーザ素子(チップ)1を形成する。個々の半導体レーザ素子1(領域61、62)の幅幅Wは250μmである。

【0094】一方の領域61については、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域12との距離dは100μmであり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離tは150μmである。他方の領域62については、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離dは150μmであり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離tは100μmである。

【0095】領域61、62の幅Wと転位集中領域11のピッチPとは $2W = P$ の関係があり、 $2(t+d) = P$ である。また、領域61についての距離d、tをd1、t1で表し、領域62についての距離d、tをd2、t2で表すと、 $d1 = t2$ 、 $d2 = t1$ である。

【0096】一方の領域61においては、n型GaIn基板60中に転位集中領域11が1本のみ存在し、高ルミネッセンス領域12は存在しない。また、他方の領域62においては、n型GaIn基板60中に転位集中領域11が存在せず、高ルミネッセンス領域12が1本のみ存在する。本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離d、t、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0097】<実施の形態3>本実施の形態3の半導体レーザ素子の製造方法では、さらに、1ピッチあたりに作製する半導体レーザ素子(チップ)1の数を4個に増大させたものである。図7は、図6と同様に、半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型GaIn基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す図であり、n型GaIn基板70のうち個々の半導体レーザ素子(チップ)1とする領域を符号71~74で表している。

【0098】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、n型GaIn基板70の転位集中領域11のピッチPは800μmであり、1ピッチに4本のレーザ光導波領域14を配置して、ピッチあたり4個の半導体レーザ素子(チップ)1を形成する。各半導体レーザ素子1(領域71~74)の幅幅Wは等しく、200μmである。順に並んだ領域71、72、73、74について、レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離dは、それぞれ80、280、320、120μmであり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離tは、それぞれ320、120、80、280μmである。

【0099】図示したように、領域71には1本の転位集中領域11が、領域73には1本の高ルミネッセンス領域12が含まれ、領域72および領域74には転位集

中領域11、高ルミネッセンス領域12のいずれも含まれない。本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、 $4W=P$ であり、各レーザ光導波領域14に対して $2(t+d)=P$ である。

【0100】本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 $d$ 、 $t$ 、 $P$ の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0101】<実施の形態4>本実施の形態4は、実施の形態2または3とは逆に、幅 $W>$ ピッチ $P$ とするものである。図8は、図8と同様に、本実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ光導波領域14とn型GaIn基板の転位集中領域11、高ルミネッセンス領域12の配置関係を示す断面図であり、n型GaIn基板80のうち半導体レーザ素子(チップ)1とする領域を符号81で表している。

【0102】本実施の形態の半導体レーザ素子1の製造方法においては、n型GaIn基板80の転位集中領域11のピッチ $P$ は $200\mu\text{m}$ であり、半導体レーザ素子1(領域81)の幅 $W$ は $300\mu\text{m}$ である。つまり、ピッチあたり2/3個の半導体レーザ素子(チップ)1を形成する(1.5ピッチに1つのチップ1を形成する)。レーザ光導波領域14と最近接の転位集中領域11との距離 $d$ は $50\mu\text{m}$ であり、レーザ光導波領域14と最近接の低転位領域中央領域12との距離 $t$ は $50\mu\text{m}$ である。

【0103】図示したように、1つの半導体レーザ素子(チップ)1に含まれる転位集中領域11と高ルミネッセンス領域12は、いずれも1本またはそれ以上である。本実施の形態の半導体レーザの製造方法においては、 $(2/3)W=P$ であり、各レーザ光導波領域14に対して $2(t+d)=P$ である。

【0104】本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 $d$ 、 $t$ 、 $P$ の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0105】上記実施の形態1〜4においては、1ピッチあたり半導体レーザ素子(チップ)を1個、2個、4個、2/3個形成する配置について説明したが、本発明の適用範囲はこれに限られるわけではなく、6個、1/2個、1/3個等の配置とすることもできる。さらに、GaIn基板上の一部の素子の配置が上記1、 $d$ の所要の範囲を逸脱しても構わないようにすれば、このように整然とした簡単な分数で表せる領域以外の様に設定することも可能である。

【0106】<実施の形態5>本実施の形態5は、実施の形態1〜4で述べたリジストライプ構造を有する窒化物半導体レーザ素子1を、電流阻止層を有する窒化物半導体レーザ素子2に替えたものである。電流阻止層を有する本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子2につい

て、図9を参照して説明する。

【0107】本実施例の半導体レーザ素子2は、n型GaIn基板200、その上に順次形成されたn型GaIn層201、n型In<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>Nクラッド層203、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nクラッド層204、n型GaIn光ガイド層205、活性層206、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nキャリアブロック層207、p型GaIn光ガイド層208、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第1クラッド層209a、電流阻止層220、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N第2クラッド層209b、p型InGaInコンタクト層210およびp電極212、ならびにn電極211、から構成される。

【0108】電流阻止層220は、p型電極112から注入された電流が、図9に示した電流阻止層間隔のみを通過できるように電流を阻止する層であれば良い。例えば、電流阻止層220として、n型Al<sub>0.75</sub>Ga<sub>0.25</sub>N層を用いても良い。電流阻止層220のA1組成比は0.25に限らず、その他の値でも構わない。本実施の形態では、電流阻止層220の開口部がレーザ光導波領域14に対応しており、本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離 $d$ 、 $t$ 、 $P$ の範囲は実施の形態1に記載したとおりであり、この範囲において実施の形態1で述べた効果が得られる。

【0109】<実施の形態6>本実施の形態6は、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも1つ、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりである。

【0110】本実施の形態では、As、PおよびSbの元素群のうち少なくとも1つ、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりである。

【0111】組成比Xが20%よりも高くなると、井戸層内の領域ごとに各元素の組成比が異なる濃度分離が次第に生じ始める。さらに、組成比Xが30%よりも高くなると、今度は濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行し始めて、井戸層の結晶性が低下し始める。一方、上記元素群の総和の増加量が $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ よりも小さくなると、井戸層に上記元素を含有したことによる効果が得られにくくなる。

【0112】本実施の形態による効果は、井戸層にAs、PまたはSbを含有することによって、井戸層の電子とホールの有効質量が小さく、また、井戸層の電子とホールの移動度が大きくなる点にある。半導体レーザ

素子の場合、前者は少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られることを意味し、後者は活性層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散により高濃度に注入されることを意味する。即ち、現在報告されているような活性層にAs、P、Sbのいずれの元素も含有しないInGaAsN系窒化物半導体レーザ素子と比べて、本実施の形態の窒化物半導体レーザ素子は、閾値電流密度が低く、雑音特性にも優れたものとなる。本実施の形態においても、本発明の効果の出現する距離d、t、Pの範囲は実施の形態1に記載したとおりである。

【0113】<実施の形態7>本実施の形態7は、基板上に窒化物半導体層を形成する際に、選択成長技術を用いるものであり、他は上述の実施の形態のいずれかと同様である。

【0114】選択成長技術は、成長を抑制する材料（例えばSiO<sub>2</sub>等の酸化物や、SiN、AlNなどの窒化物）からなり開口部を有するマスクを、基板上にあらかじめ設けておき、基板上に窒化物半導体層を形成する際、その成長初期に、横方向への成長が進行するように制御する技術である。これにより、窒化物半導体層の成長に伴って生じるクラックが有効に防止される。マスクは、転写集中領域11上、高出力ネセンス領域12上に対応して設けることができ、また、これらの領域に関わらず設けることもできる。少なくともレーザ導波領域14の直下にマスクを設けることが、レーザ導波領域に発生するクラックを効果的に防止できる点から望ましい。

【0115】上述の各実施の形態1〜7においては、基板としてGaNを用いる例を説明したが、「課題を解決するための手段」に記載したような材料で構成される窒化物半導体基板に置換することもできる。また、窒化物半導体基板上に成長させる窒化物半導体層の材料についても、「課題を解決するための手段」に記載したような窒化物半導体材料に置換することができ、

【0116】<実施の形態8>本実施の形態8は、本発明の窒化物半導体レーザ素子を半導体光学装置に適用したものである。

【0117】本発明の窒化物半導体レーザ素子（330〜550nmの発振波長）は、半導体光学装置、例えば光ピックアップ装置に利用すると、以下の点において好ましい。各窒化物半導体レーザ素子は、高出力（30mW）であり、高温雰囲気中（60℃）でも安定して動作し、しかもレーザ発振寿命が長いことから、高い信頼性が要求される高密度記録再生用光ディスク装置に最適である（発振波長が短いほど、より高密度に記録再生が可能となる）。

【0118】図10に、本発明の窒化物半導体レーザ素子を半導体光学装置に利用した一例として、光ディスク装置（光ピックアップを有する装置、例えば、DVD装

置など）の概略構成を示す。光ディスク装置300は、光ピックアップ301、制御回路302、ディスクDを回転させるモータ303、および光ピックアップ301を移動させるモータ304を備えている。光ピックアップ301には、半導体レーザ素子305、ビームスプリッタ306、ミラー307、対物レンズ308、および光検出器309が含まれている。半導体レーザ素子305は、上述のいずれかの実施の形態の窒化物半導体レーザ素子1、2である。

【0119】情報の記録に際し、半導体レーザ素子305が発するレーザ光Lは、制御回路302によって入力情報に応じて変調され、ビームスプリッタ306、ミラー307および対物レンズ308を経てディスクDの記録面上に収束して、情報をディスクDに記録する。また、半導体レーザ素子305が無変調のレーザ光Lを発している間に、ディスクDの記録面のうちレーザ光Lが収束する部位の境界を入力情報に応じて変調することによっても、情報を記録することができる。情報の再生に際しては、ディスクD上のビット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光Lが、対物レンズ308、ミラー307、ビームスプリッタ306を経て光検出器309に入射し、光検出器309によって再生信号とされる。半導体レーザ素子305が出力するレーザ光Lのパワーは、例えば、記録時には30mW、再生時には5mW程度である。

【0120】本発明の半導体レーザ素子は、光ピックアップ装置を有するこのような光ディスク装置の他に、例えば、レーザプリンター、バーコードリーダー、光の三原色（青色、緑色、赤色）レーザによるプロジェクター等にも利用可能であり、高出力で高寿命の光源として適している。

#### 【0121】

【発明の効果】窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の転写集中領域から40μm以上ずらすようにした本発明では、レーザ光導波領域への基板の転位の影響が抑えられ、レーザ発振寿命の長い窒化物半導体レーザ素子が得られる。

【0122】また、窒化物半導体層のレーザ光導波領域を窒化物半導体基板の低転写領域中央領域または高ルミネッセンス領域から30μm以上ずらすようにした本発明では、基板のうち性質が一定の部位の上にレーザ光導波領域を位置させることができ、やはり、レーザ発振寿命の長い窒化物半導体レーザ素子が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 実施の形態1の半導体レーザ素子の構造を模式的に示す断面図。

【図2】 本発明における窒化物半導体基板の製造工程を模式的に示す拡大断面図（a）、斜視図（b）、縦断面図（c）および平面図（d）。

【図3】 実施の形態1の半導体レーザ素子の層構成を

模式的に示す縦断面図。

【図4】 窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と転位集中領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図。

【図5】 窒化物半導体レーザ素子におけるレーザ光導波領域と高ルミネッセンス領域の距離とレーザ発振寿命との関係を示す図。

【図6】 実施の形態2の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

【図7】 実施の形態3の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

【図8】 実施の形態4の半導体レーザ素子の製造方法を模式的に示す平面図。

【図9】 実施の形態1〜4の半導体レーザ素子の他の層構成を模式的に示す縦断面図。

【図10】 実施の形態8の半導体光学装置の概略構成を示すブロック図。

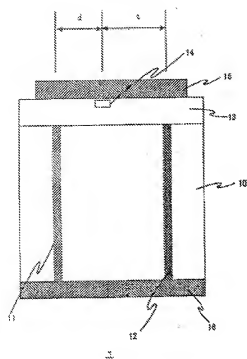
【符号の説明】

- 1、2 窒化物半導体レーザ素子
- 10 n型GaN基板
- 11 転位集中領域
- 12 低転位領域中央領域（高ルミネッセンス領域）
- 13 窒化物半導体層
- 14 レーザ光導波領域
- 15 p電極
- 16 n電極
- 21 支持基体
- 22 n型GaN層
- 23 {11-22}面
- 24 凹凸底部下部
- 25 凹凸頂上部
- 26 {0001}面
- 60 n型GaN基板
- 61、62 窒化物半導体レーザ素子形成領域
- 70 n型GaN基板
- 71〜74 窒化物半導体レーザ素子形成領域
- 80 n型GaN基板

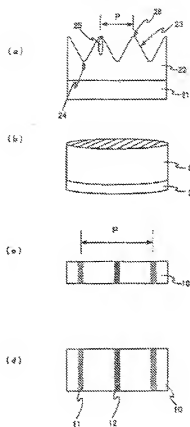
81 窒化物半導体レーザ素子形成領域

- 102 n型GaN層
- 103 n型InGaNクラック防止層
- 104 n型AlGaNクラッド層
- 105 n型GaN光ガイド層
- 106 InGaN活性層
- 107 p型AlGaNキャリアブロック層
- 108 p型GaN光ガイド層
- 109 p型AlGaNクラッド層
- 110 p型GaNコンタクト層
- 111 n電極
- 112 p電極
- 113 絶縁膜
- 200 n型GaN基板
- 201 n型GaN層
- 203 n型InGaNクラック防止層
- 204 n型AlGaNクラッド層
- 205 n型GaN光ガイド層
- 206 活性層
- 207 p型AlGaNキャリアブロック層
- 208 p型GaN光ガイド層
- 209a p型AlGaN第1クラッド層
- 209b p型AlGaN第2クラッド層
- 210 p型InGaNコンタクト層
- 211 n電極
- 212 p電極
- 220 電流阻止層
- 300 光ディスク装置
- 301 光ピックアップ
- 302 制御回路
- 303、304 モータ
- 305 窒化物半導体レーザ素子
- 306 ビームスプリッタ
- 307 ミラー
- 308 対物レンズ
- 309 光検出器

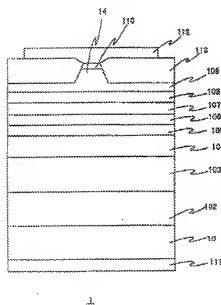
1000 1000 1000 1000



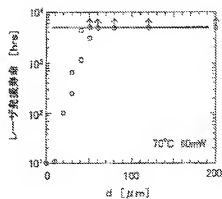
【图2】



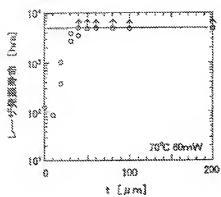
1000



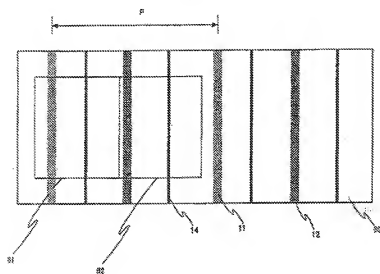
[ 84 ]



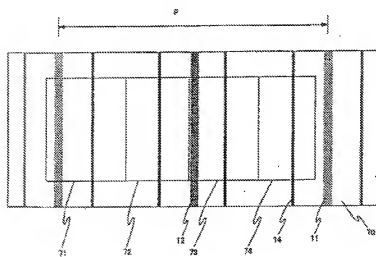
【図5】



【図6】



【図7】





【ターム(参考)】 5F073 AA13 AA20 AA51 AA74 AA89  
BA06 CA07 CB18 EA24 EA28